
	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, 24 de octubre de 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Marisol Rodríguez Ibáñez, con C.C. No.1.023.895.178,

Cindy Lorena Rodríguez Osorio, con C.C. No. 1.075.277276

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o Proyecto de grado

titulado Sistema De Monitoreo De Cultivo Hidropónico De Lechuga Instalado En Tecnoparque Nodo Neiva presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



**CARTA DE AUTORIZACIÓN**

**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**



**2 de 2**

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Cindy Lorena Rodríguez Osorio

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Marisol Rodríguez Ibáñez

Firma:

	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 4</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Sistema De Monitoreo De Cultivo Hidropónico De Lechuga Instalado En Tecnoparque Nodo Neiva

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Rodríguez Osorio	Cindy Lorena
Rodríguez Ibáñez	Marisol

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Molina Mosquera	Johan Julián

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Electrónico

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Electrónica



**CIUDAD:** Neiva      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 89

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas   X   Fotografías   X   Grabaciones en discos        Ilustraciones en general        Grabados         
Láminas        Litografías        Mapas        Música impresa        Planos        Retratos        Sin ilustraciones        Tablas  
o Cuadros   X  

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** *(En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):*

### **PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<b>Español</b>	<b>Inglés</b>	<b>Español</b>	<b>Inglés</b>
1. Base de datos	Data base	4. Sistema embebido	Embedded system
2. Solución nutritiva	Nutritive solution	5. Electro-conductividad	Electroconductivity
3. Cultivo hidropónico	Hydroponic crop	6. pH	pH

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El presente trabajo consta del diseño e implementación de un sistema de monitoreo para un cultivo hidropónico de lechuga ubicado en el TecnoParque del Sena sede Neiva el cual comprende la adquisición y procesamiento de datos por medio de los microcontroladores PIC (Controlador programable de interrupciones) 18f4550 y 16f877A. El PIC 18f4550 se consideró el cerebro del sistema embebido ya que controla los módulos y sensores que intervienen en el proceso de obtención y visualización de las variables que juegan un papel importante en este para el desarrollo de la cosecha de lechuga, tales como el pH, electro conductividad, temperatura y nivel del tanque contenedor de la solución nutritiva. También se utilizó el módulo de comunicaciones GSM, Sim 800L, el cual se encarga de la transmisión de datos hacia un servidor web, que registra y almacena en una base de datos en MySQL administrada por phpMyAdmin, la información se presenta en tiempo real en una aplicación web desarrollada en base a los frameworks CodeIgniter y Bonfire; desde allí se visualiza el comportamiento de las variables para tomar decisiones, controlar eficientemente el uso de los nutrientes y ahorrar tiempo en horas de trabajo.

El sistema Simohidro (Sistema de monitoreo hidropónico), permite el registro y la visualización amigable con el usuario con información precisa, en tiempo real y se convierte en una fuente de información importante para futuras cosechas; el sistema



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 4

embebido diseñado demostró ser fiable, eficiente a la hora de adquirir, procesar y enviar los datos; además permitirá reducir el costo de personal, el uso desmedido de nutrientes y la perdida de algunas plantas o la producción.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)



This project consists on the design and implementation of a monitoring system for a hydroponics lettuce crops at the Techno-Park Sena headquarters Neiva which acquires and it processes information by means of the micro-controllers PIC (Programmable Interrupt Controller) 18f4550 and 16f877A. The PIC 18f4550 was considered the brain of this embedded system that it controls the modules and sensors that intervene in the process to obtain and visualize the variables that play an important role for the development of the lettuce crops, some important variables are pH, electro-conductivity, temperature and level in the nutritive solution container. Also the implementation of GSM communication module was used, sim 800L, which takes charge of the transmission of data sending to a web server that registers and stores it in a database MySQL, managed by phpMyAdmin, this information is presented in real time over a web application developed following the framework Codeigniter and Bonfire, from here you can visualize the behavior of the variables in order to make decisions, to control the use of the nutrients efficiently and to save time in working hours.

The system Simohidro (Hydroponic monitoring system), it allows the registration and the friendly visualization with the user using precise information in real time and it becomes a reliable source of important information for future crops; the designed absorbed system proved to be reliable, efficient when acquiring, process and to send the data; it will also allow to reduce the cost of personnel, the unreasonable use of nutritious and the lost of some plants or the production.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Jurado: Yamil cerquera Rojas

Firma:

	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>4 de 4</b>

Nombre Jurado: Diego Fernando Sedoya Losada

Firma:





# SISTEMA DE MONITOREO DE CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA INSTALADO EN TECNOPARQUE NODO NEIVA

MARISOL RODRÍGUEZ IBÁÑEZ  
CINDY LORENA RODRÍGUEZ OSORIO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA-HUILA  
2019

# SISTEMA DE MONITOREO DE CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA INSTALADO EN TECNOPARQUE NODO NEIVA

MARISOL RODRÍGUEZ IBÁÑEZ  
CINDY LORENA RODRÍGUEZ OSORIO

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de:  
Ingeniero Electrónico

Director  
JOHAN JULIÁN MOLINA MOSQUERA  
Ingeniero Electrónico  
Magister en Telecomunicaciones Móviles

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA-HUILA  
2019



## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director del proyecto

---

Firma del primer jurado

---

Firma del segundo jurado

Neiva, octubre de 2019

A mis padres Nelcy Osorio Diaz y David Rodríguez Pascuas, quienes con su sacrificio y cariño me orientaron y brindaron su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y carrera profesional; a mi esposo Alejandro Diaz Trujillo, quien fue la persona que brindó su mano de sostén y con su amor y paciencia me acompañó siempre durante todo este proceso formativo; a mi hermosa hija Alejandra Diaz Rodríguez, quien ha sido el motor de mis últimos semestres de estudio y motivación para brindarle un mejor futuro a ella; es quien todos los días me enseña algo nuevo haciendo que el amor más puro que existe, como el de una madre crezca más; a mis hermanos, Faiber, Diego, Adriana y Aldemar, quienes de una u otra manera también han estado ahí para cuando los he necesitado siempre; a mis demás familiares y amigos gracias a todos; esto ha sido posible por cada aporte que me han brindado.

Cindy Lorena Rodríguez Osorio.

A mis padres, Dagoberto y Leguis, motores de mi vida, motivación e inspiración, quienes desinteresadamente han creído en mí y me han guiado en un camino que, aunque lleno de altibajos, transitamos con paciencia, voluntad y constancia, junto a mis hermanos, Rafael, Rober y Mercedes. El apoyo incondicional de ustedes es invaluable y razón suficiente para seguir adelante.

Todo esto ha sido posible gracias a ustedes.

Marisol Rodríguez Ibáñez

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque nos brindó sabiduría, inteligencia y salud en cada etapa de nuestra carrera profesional y más aún en este proyecto, permitiéndonos cada día tener confianza en sí mismas y para avanzar con más seguridad para llegar hasta la meta.

También se agradece los conocimientos aportados por cada ingeniero docente que hace parte del programa, que contribuyeron con su granito de arena para nuestra formación como ingenieras electrónicas; de una manera muy especial a nuestro director de tesis, el ingeniero Johan Julián Molina Mosquera Magister en Telecomunicaciones Móviles, pues con sus asesorías y recomendaciones hizo posible el diseño y ejecución de este gran proyecto.

Gracias al TecnoParque SENA por ceder un espacio donde trabajar y aportar a este gran proyecto de la hidroponía adelantada por el Gestor de proyectos el ingeniero Carlos Pérez, Magister en Ingeniería Eléctrica; además es preciso resaltar también la participación y asesoría del ingeniero electrónico Duván Darío Quintero; gracias a ambos por su apoyo, paciencia y confianza incondicional recibida desde el nacimiento de apenas una idea que hoy en día es una realidad.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>1. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>19</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1. GENERALIDADES DE LA HIDROPONÍA.....	23
2.2. SISTEMAS HIDROPÓNICOS .....	26
2.3. LA LECHUGA .....	27
2.4. SOLUCIÓN NUTRITIVA .....	29
2.5. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS EN LAS PLANTAS <sup>20</sup> .....	30
2.6. POTENCIAL DE HIDROGENO (PH) .....	35
2.7. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	35
2.8. TEMPERATURA.....	36
2.9. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.....	36
<b>3. PROTOTIPO DEL SISTEMA DE MONITOREO HIDROPÓNICO – SIMOHIDRO .....</b>	<b>52</b>
3.1. ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ENVÍO DE INFORMACIÓN. ....	52
3.2. PÁGINA WEB .....	63
<b>4. MODELO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO .....</b>	<b>69</b>
4.1. MODELO VISTA CONTROLADOR.....	71
4.2. MODELO CLIENTE/SERVIDOR .....	71
4.3. MONTAJE E INSTALACIÓN FINAL DEL SISTEMA .....	72
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
5.1. DESARROLLO FENOLÓGICO DE LA LECHUGA.....	75
5.2. LOS RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA COSECHA .....	78
5.3. GRAFICAS DE LOS RESULTADOS TEMPORALES DE LAS VARIABLES .....	79
<b>6. PRESUPUESTO .....</b>	<b>83</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>85</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE NFT. ....	26
FIGURA 2. ÁREA SEMBRADA Y ÁREA COSECHADA DEL CULTIVO DE PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA 2007-2016. ....	29
FIGURA 3. ESQUEMA DE BLOQUES GENERAL DE UN MICROCONTROLADOR.....	37
FIGURA 4. PROGRAMADOR PICKIT 2.....	38
FIGURA 5. MÓDULO SIM 800L. ....	39
FIGURA 6. CONVERTOR USB TTL CP2102. ....	41
FIGURA 7. MÓDULO DS3132.....	41
FIGURA 8. MÓDULO LCD 16X2.....	42
FIGURA 9. SENSOR DE PH.....	42
FIGURA 10. SENSOR DE ELECTRO CONDUCTIVIDAD SKU DFR0300.....	43
FIGURA 11. SENSOR DS18B20.....	43
FIGURA 12. SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04.....	44
FIGURA 13. LOGOTIPO PHPMYADMIN Y MYSQL.....	47
FIGURA 14. LOGOTIPO CODEIGNITER.....	48
FIGURA 15. LOGOTIPO BONFIRE.....	49
FIGURA 16. DIAGRAMA DE LOS FRAMEWORKS.....	51
FIGURA 17. POLVO BUFFER PARA CALIBRACIÓN DE PH.....	56
FIGURA 18. MONITOREO DE ÓRDENES DEL PIC 18F4550 Y RESPUESTA DEL MÓDULO GSM SIM 800L, POR MEDIO DEL PUERTO SERIE UTILIZANDO EL SOFTWARE HÉRCULES Y EL MÓDULO TTL-USB.....	58
FIGURA 19. PETICIÓN HTTP QUE HACE AL MÓDULO GSM Y RESPUESTA DEL SERVIDOR WEB.....	59
FIGURA 20. PRUEBAS DE ADQUISICIÓN Y ENVÍO DE INFORMACIÓN.....	60
FIGURA 21. SEMILLA DE LECHUGA UTILIZADA PARA LA PLANTACIÓN.....	61
FIGURA 22. DIAGRAMA DE FLUJO, FUNCIONAMIENTO DEL SIMOHIDRO.....	61
FIGURA 23. DIAGRAMA SIMULADO EN PROTEUS.....	62
FIGURA 24. DIAGRAMA DEL DISEÑO PCB PARA IMPRIMIR DISEÑADO EN PROTEUS.....	62
FIGURA 25. REVERSO Y ANVERSO DE LA PLACA PCB.....	63
FIGURA 26. INTERFAZ DE INGRESO AL USUARIO.....	65
FIGURA 27. INTERFAZ DE BIENVENIDA.....	66
FIGURA 28. CAPTURA DE PANTALLA VALORES EN TIEMPO REAL DE LAS VARIABLES DE PROCESO.....	66
FIGURA 29. GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO.....	67
FIGURA 30. CÓDIGO PSEINT DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PÁGINA WEB.....	69
FIGURA 31. DIAGRAMA DE FLUJOS, FUNCIONAMIENTO DE LA PÁGINA WEB.....	70
FIGURA 32. DIAGRAMA DEL MODELO VISTA CONTROLADOR.....	71
FIGURA 33. DIAGRAMA DEL MODELO CLIENTE / SERVIDOR.....	72
FIGURA 34. CULTIVO DE LECHUGA CRESPA LUEGO DE TRASPLANTAR.....	73
FIGURA 35. INSTALACIÓN DEL SISTEMA SIMOHIDRO EN ETAPAS.....	74
FIGURA 36. INSTALACIÓN DEL SISTEMA SIMOHIDRO.....	74
FIGURA 37. PROCESO DE IMBIBICIÓN.....	75
FIGURA 38. PROCESO DE GERMINACIÓN.....	76
FIGURA 39. PLANTAS CON 5 DÍAS DE TRASPLANTACIÓN.....	76
FIGURA 40. PLANTAS CON 30 DÍAS DE TRASPLANTACIÓN.....	77
FIGURA 41. PLANTAS CON 37 DÍAS DE TRASPLANTACIÓN.....	77
FIGURA 42. COSECHA CON 30 DÍAS.....	78
FIGURA 43. COSECHA CON 37 DÍAS.....	79
FIGURA 44. GRÁFICO TEMPERATURA /TIEMPO.....	79

FIGURA 45. GRÁFICO PH /TIEMPO .....	79
FIGURA 46. GRÁFICO NIVEL DEL TANQUE /TIEMPO. ....	80
FIGURA 47. GRÁFICO CONDUCTIVIDAD /TIEMPO.....	80
FIGURA 48. CULTIVO DE LECHUGA CON COMPOSTAJE VERTICAL. ....	81
FIGURA 49. CULTIVO DE LECHUGA CON COMPOSTAJE HORIZONTAL. ....	81

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. ANÁLISIS DE CULTIVOS TRADICIONALES E HIDROPÓNICOS O SIN SUELO. ....	24
TABLA 2. COMPARACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN EN EL SUELO Y CULTIVO HIDROPÓNICO EN ALGUNOS CULTIVOS. ....	25
TABLA 3. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DE LA LECHUGA. ....	28
TABLA 4. SALES NUTRITIVAS. ....	30
TABLA 5. COMANDOS AT USADOS PARA ESTABLECER LA CONEXIÓN DE LA RED MÓVIL PARA EL ENVÍO DE INFORMACIÓN. ....	40
TABLA 6. DESCRIPCIÓN MÓDULOS BONFIRE. ....	50
TABLA 7. IDENTIFICACIÓN DE E/S A USAR SOBRE EL PIC 18F4550. ....	52
TABLA 8. RANGOS PARA QUE LA LECHUGA SE MANTENGA EN ÓPTIMAS CONDICIONES ....	52
TABLA 9. CONDUCTIVIDAD A DIFERENTES TEMPERATURAS. ....	54
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE PH. ....	55
TABLA 11. NIVEL DEL TANQUE ....	57
TABLA 12. VARIABLES FÍSICAS DE LA LECHUGA COSECHADA 1 ....	78
TABLA 13. VARIABLES FÍSICAS DE LA LECHUGA COSECHADA 2 ....	78
TABLA 14. PRESUPUESTO DEL PROYECTO. ....	83

## RESUMEN

El presente trabajo consta del diseño e implementación de un sistema de monitoreo para un cultivo hidropónico de lechuga ubicado en el TecnoParque del Sena sede Neiva el cual comprende la adquisición y procesamiento de datos por medio de los microcontroladores PIC (Controlador programable de interrupciones) 18f4550 y 16f877A. El PIC 18f4550 se consideró el cerebro del sistema embebido ya que controla los módulos y sensores que intervienen en el proceso de obtención y visualización de las variables que juegan un papel importante en este para el desarrollo de la cosecha de lechuga, tales como el pH, electro conductividad, temperatura y nivel del tanque contenedor de la solución nutritiva. También se utilizó el módulo de comunicaciones GSM, Sim 800L, el cual se encarga de la transmisión de datos hacia un servidor web, que registra y almacena en una base de datos en MySQL administrada por phpMyAdmin, la información se presenta en tiempo real en una aplicación web desarrollada en base a los frameworks CodeIgniter y Bonfire; desde allí se visualiza el comportamiento de las variables para tomar decisiones, controlar eficientemente el uso de los nutrientes y ahorrar tiempo en horas de trabajo.

El sistema Simohidro (Sistema de monitoreo hidropónico), permite el registro y la visualización amigable con el usuario con información precisa, en tiempo real y se convierte en una fuente de información importante para futuras cosechas; el sistema embebido diseñado demostró ser fiable, eficiente a la hora de adquirir, procesar y enviar los datos; además permitirá reducir el costo de personal, el uso desmedido de nutrientes y la pérdida de algunas plantas o la producción.

Palabras clave: Base de datos, cultivo hidropónico, electro-conductividad, pH, sistema embebido, solución nutritiva.



## ABSTRACT

This project consists on the design and implementation of a monitoring system for a hydroponics lettuce crops at the Techno-Park Sena headquarters Neiva which acquires and it processes information by means of the micro-controllers PIC (Programmable Interrupt Controller) 18f4550 and 16f877A. The PIC 18f4550 was considered the brain of this embedded system that it controls the modules and sensors that intervene in the process to obtain and visualize the variables that play an important role for the development of the lettuce crops, some important variables are pH, electro-conductivity, temperature and level in the nutritive solution container. Also the implementation of GSM communication module was used, sim 800L, which takes charge of the transmission of data sending to a web server that registers and stores it in a database MySQL, managed by phpMyAdmin, this information is presented in real time over a web application developed following the framework Codeigniter and Bonfire, from here you can visualize the behavior of the variables in order to make decisions, to control the use of the nutrients efficiently and to save time in working hours.

The system Simohidro (Hydroponic monitoring system), it allows the registration and the friendly visualization with the user using precise information in real time and it becomes a reliable source of important information for future crops; the designed absorbed system proved to be reliable, efficient when acquiring, process and to send the data; it will also allow to reduce the cost of personnel, the unreasonable use of nutritious and the lost of some plants or the production.

Keywords: data base, electroconductivity, Embedded system, Hydroponic crop, nutritive solution, pH.

## INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una técnica de cultivo en agua empleado hace siglos y que ha tenido gran acogida en la actualidad, debido a su practicidad. El poder recolectar hortalizas para el consumo, en espacios muy reducidos es una ventaja sobre todo en zonas urbanas, así como los bajos costos de producción y ahorro de agua. El sistema NFT ( Nutrient Film Technique) es un sistema recirculante continuo donde la solución nutritiva, contenida en un tanque de 200 litros aproximadamente, recorre una serie de canales de PVC ( policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil) que tienen agujeros donde van colocadas las plántulas de lechuga, la semilla de variedad Black Simpson y escarola fueron germinadas en un término de 8 días antes de ser trasplantadas sobre una espuma que las sostiene en los agujeros de los canales.

La recirculación garantiza el contacto permanente de las plantas con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para las plantas.

Usualmente la producción hidropónica en masa donde se pueda cosechar grandes cantidades de hortalizas requiere la intervención constante de un operario para inspeccionar frecuentemente que el nivel del tanque no disminuya demasiado o que el suministro de los nutrientes sea el adecuado haciendo mediciones con instrumentos portátiles de pH, conductividad y temperatura. Todo esto da paso a cometer errores humanos en la medición, a que el operario no esté disponible en el momento que haya un imprevisto o la imposibilidad saber el comportamiento temporal del cultivo con respecto a las variables que interfieren en el proceso; por eso es de vital importancia que se haga un monitoreo constante que no dé cabida a estas fallas y además optimice el proceso de medición y ahorre costos en horas de trabajo.

De ahí el objetivo central del proyecto, diseñar e implementar un sistema de adquisición y monitoreo de las variables de un cultivo hidropónico de lechuga, en el cual en capítulos posteriores se irá desmenuzando cada parte importante del sistema, primero investigando sobre sistemas similares y conociendo un tema nuevo como el de los cultivos hidropónicos, leyendo mucho sobre el tema para escoger el más adecuado para el proyecto, luego se determina cómo sería la comunicación, qué tipo de sistema embebido utilizó y los sensores acordes al mismo. Fueron días de mucho estudio y análisis, ensayos, pruebas, errores; que al fin y al cabo decisivos para escoger la opción más económica para el usuario final. Se procede a crear una página web que fuera amigable con el usuario; con

información accesible, fácil de entender y con gráficas temporales representativas de las variables del proceso.

SIMOHIDRO fue el nombre elegido para el sistema desarrollado, las siglas de Sistema de Monitoreo Hidropónico, tiene aplicaciones en diferentes tipos de hortalizas, es ideal para cultivos en masa, es decir, para grandes productores; en la región no es tan común este tipo de cultivos y es una ventaja porque se puede impulsar dados sus grandes beneficios.

La expectativa es que SIMOHIDRO sea de mucha utilidad para investigaciones futuras, para pequeños productores y para todo aquel que esté interesado en el tema y quiera hacerle un aporte para mejorar los resultados.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia es común escuchar hablar de los cultivos hidropónicos, gracias a las ventajas que le proporciona a los cultivadores y consumidores; debido a que en estos cultivos las plantas se encuentran flotando sobre una solución de nutrientes con una debida recirculación y oxigenación es necesario conocer en tiempo real el comportamiento de las variables que intervienen en el proceso, en este caso, la lechuga es la hortaliza seleccionada para el sistema hidropónico que se encuentra instalado en el TecnoParque Neiva, a partir del cual se pretende monitorear las variables cruciales en el desarrollo del cultivo y por las cuales se puede ver deteriorada la producción; como lo son:

- El *pH* de la solución controla la disponibilidad de sales fertilizantes que requiere la planta; un pH óptimo para el crecimiento es aproximadamente de 5.8, cuando éste alcanza niveles muy altos hace que los nutrientes se vuelvan insolubles y no disponibles para el uso de la planta, notándose visiblemente en forma de manchas amarillas en las hojas que la debilitan; ahora bien, si por el contrario el pH disminuye excesivamente, los metales tóxicos (Aluminio, Hierro, Manganeso, Cobre, Cobalto y Boro) empiezan a disolverse por la humedad volviéndose disponibles para las plantas. Es importantes resaltar que un pH fuera del rango apropiado conlleva a un deterioro fatal.
- La *temperatura* influye en el crecimiento de la lechuga dependiendo de la variedad de esta, pero generalmente la lechuga es relativamente resistente a las bajas temperaturas, aunque las heladas severas causan daños irreversibles en las etapas próximas a la cosecha disminuyendo su valor comercial y las altas temperaturas favorecen la aparición de quemaduras en los bordes de las hojas, inducen la floración prematura y dan sabores amargos a las hojas.
- La *conductividad eléctrica* depende de la concentración de sales disueltas y facilita la asimilación de los nutrientes fertilizantes, si la CE se encuentra por encima del nivel óptimo, la planta se esforzará más para poder absorber los nutrientes, gastando energía esencial de la planta y reduciendo el rendimiento productivo del cultivo. Cuando se ahorra energía en la nutrición, la planta dispondrá de una mayor cantidad de ésta para realizar otros procesos fisiológicos y el crecimiento de la hoja. Siendo así, el cultivo más productivo y la rentable.

El *nivel del tanque* contenedor de la solución permite conocer en qué momento se debe preparar y adicionar más solución de nutrientes, evitando así la disminución total de la solución o, por el contrario, el desborde de ésta.

Aquí las variables mencionadas (pH, nivel, conductividad y temperatura), son la clave para el éxito del cultivo hidropónico, por ende, ¿Cómo el Productor puede tener acceso, en cualquier momento y lugar, al comportamiento de estas variables, para garantizar la toma de decisiones en la producción que puedan afectar el rendimiento de éste?

## JUSTIFICACIÓN

Los cultivos hidropónicos en Colombia son una solución innovadora en el campo en zonas áridas o frías, posibilita la automatización de pequeñas plantaciones de hortalizas, plantas aromáticas y frutales; su implementación trae consigo ventajas como: la reducción de costos de producción, el ahorro de espacio, agua y capital para una mayor producción dando como resultado una cosecha con mayor limpieza e higiene libre de parásitos, bacterias, hongos y contaminación externa, desde la siembra hasta a cosecha.

Para este proyecto se dispone de un cultivo hidropónico de lechuga automatizado bajo un sistema realimentado, el cual dependiendo de la medición del valor de las variables como el nivel de tanque, conductividad eléctrica, temperatura y principalmente del pH; dosifica los nutrientes en proporciones adecuadas añadiendo consigo, si es necesario, sustancias ácidas o básicas, dependiendo el caso, para estabilizar el pH; éste sistema está ubicado en las instalaciones del TecnoParque del Sena Neiva, para el cual es preciso desarrollar un monitoreo continuo de las variables de proceso creando consigo una base de datos que permita tener un registro permanente visualizado en una interfaz idónea desde cualquier parte del mundo mediante un móvil o computador. Además, este monitoreo ayuda al productor del cultivo, en caso de que se presente alguna falla técnica genera un sistema de alerta, sobre los rangos establecidos en el caso de que estos sobrepasen los límites en cada una de las variables a monitorear, las cuales corresponden a:

- El pH de la solución, que facilita la absorción de nutrientes para el óptimo crecimiento evitando el desgaste del cultivo;
- La temperatura interviene en la evolución del cultivo, pues el metabolismo de toda planta se altera dependiendo el comportamiento de esta y a su vez ligando el suministro gradual de los nutrientes y agua necesaria;
- La conductividad eléctrica es importante para que el diseño de la solución nutritiva sea soluble y así facilitar la asimilación de los fertilizantes;
- El nivel del tanque que permite estar alerta ante una disminución de la solución nutricional.

Según el anuario estadístico de la gobernación del Huila<sup>1</sup>, la producción de hortalizas en el Huila de los años 2005 a 2012, se puede inferir que año tras año aumenta su producción en un promedio de 800 toneladas por año, esto tiene que ver con el aumento de la demanda de dichas hortalizas debido a los beneficios que traen su consumo frecuente para la salud.

Además, analizando e, es de notar que el volumen de la producción es proporcional al área del suelo cultivada y cosechada y que directamente se ve reflejada en una ganancia económicamente mayor, aunque en los años también hubieren aumentado los costos de producción, el valor de la producción también ha aumentado significativamente, y que al mismo tiempo los costos de producción se disminuyen en la medida en que al área cultivada es mayor, haciendo que las ganancias sean más significativas.

Para esto surge la necesidad de diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos mediante un microcontrolador que recibe los datos que cada sensor arroja, permitiendo obtener el valor de cada variable (pH, nivel del tanque, temperatura y conductividad) en tiempo real junto con una interfaz amigable con el usuario final proporcionando gráficos temporales y base de datos con almacenamiento en la nube, estableciendo comunicación a la red por medio de un módulo celular GSM sin descartar otras posibles sistemas de comunicación; basados en una plataforma de software libre que disminuya al máximo los costos en el desarrollo del mismo; ésta tecnología en conjunto permitirá al productor tomar decisiones acertadas en el control de los factores determinantes que puedan afectar el rendimiento de la producción y dando un gran avance hacia la tecnificación agrícola que es escasa para aquellos que posean pocos recursos para inversión.

Como proyección social es de destacar que el sistema está diseñado para dar solución al problema expuesto; sin embargo, no es una solución pensada para un prototipo en específico si no que va más allá, dado a que cumple con las expectativas de un trabajador del campo o productor que quiere tecnificarse para ahorrar tiempo, dinero y recursos; siendo aplicable a otros tipos de cultivos de hortalizas con el sistema hidropónico y que se pueda producir en mayor volumen con espacios más reducidos, para dar como resultado un método funcional y práctico de vigilar obteniendo una producción efectiva, siendo idóneo también para grandes productores, dando un gran salto al uso de las nuevas tecnologías en el campo; para lo cual, día tras día, los ingenieros están encargados de brindar soluciones prácticas, eficientes y económicas que puedan beneficiar a la gente con muy poca inversión, contribuyendo de esta manera al desarrollo tecnológico en el sector del agro que brinda muchas posibilidades de aplicar el “Internet de las Cosas”

---

<sup>1</sup>DEL HUILA, Gobernación. Anuario estadístico agropecuario. En Líneas. Disponible en <https://www.huila.gov.co/documentos/627/anuarios-estadisticos/> Consultado el 28 de enero del 2019.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de adquisición y monitoreo de las variables de un cultivo hidropónico de lechuga en el TecnoParque Nodo Neiva basado en el concepto de internet de las cosas.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Adquirir y procesar las variables del cultivo mediante un microcontrolador.

Registrar y almacenar en tiempo real las variables en una base de datos y sincronizar estos en la nube, incursionando en el internet de las cosas.

Diseñar aplicación web/móvil que permita visualizar el comportamiento de las variables.



## 1. ESTADO DEL ARTE

La hidroponía es una técnica de cultivo bastante antigua, pero de reciente descubrimiento en función comercial, en donde las plantas reemplazan la tierra por una solución acuosa, que contienen los elementos minerales que la planta necesita, existen indicios de que la primera aplicación de la hidroponía que la historia registra son los jardines colgantes de Babilonia y los jardines flotantes de los aztecas en México<sup>2</sup>.

Su descubrimiento y desarrollo comenzó, aproximadamente hace tres siglos, cuando John Woodward, miembro de la Real Sociedad de Inglaterra, hizo sus primeros experimentos para determinar la forma en que las plantas obtenían su alimento. Utilizando cultivos en agua trató de establecer si era el agua o las partículas sólidas de la tierra las que nutrían las plantas. Nicolás de Saussure publicó hacia 1804 el resultado de algunas de sus investigaciones en las cuales demostraba que las plantas necesitan sustancias minerales para alcanzar un óptimo desarrollo. En los años 1859-1865 Julio Von Sachs, profesor de Botánica de la Universidad de Würzburg, Alemania, llevó a cabo nuevos ensayos que posibilitaron el desarrollo en laboratorio de un tipo de cultivo sin tierra. Este científico descubrió que agregando al agua cantidades balanceadas de fertilizantes químicos, podían cultivarse plantas prescindiendo de tierra o abonos, bajo condiciones cuidadosamente controladas. Pero sólo hasta 1929-1930 el profesor William f. Gericke, de la Universidad de California, trató de convertir estas técnicas de laboratorio en métodos prácticos para obtener cosechas argumentando que se había descubierto algo verdadero y de tal valor para beneficio de la humanidad. Entonces él montó unidades de cultivo al aire libre aprovechando el clima soleado de California, teniendo total éxito con este experimento con plantas de tomate. A esta nueva ciencia de la jardinería le dio el nombre de cultivo hidropónico y siguió sus trabajos cultivando una gran variedad de hortalizas, luego flores, cereales, tubérculos y árboles frutales<sup>3</sup>.

En Colombia, la hidroponía se introdujo a la industria del cultivo de flores, como una alternativa para el manejo de problemas sanitarios en los cultivos, en especial los causados por *Fusarium oxysporum*. Hoy el cultivo hidropónico de clavel, rosas,

---

<sup>2</sup> CASTILLO, Enrique. Hombres y agricultura. IICA Biblioteca Venezuela, 1996.

<sup>3</sup> BELTRANO, José; GIMENEZ, Daniel O. Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2015.

pompones, hortensias, calas, alstroemerias y muchas otras especies florícolas es muy común, estimándose alrededor de 2000 hectáreas cultivadas bajo este sistema en las plantaciones de flores comerciales en Colombia<sup>4</sup>.

Se introdujeron tanques plásticos para el almacenamiento, mezcla y suministro de las soluciones nutrientes; además, se desarrollaron rápidamente nuevos sistemas de riego con mejores bombas, temporizadores, tuberías plásticas, válvulas solenoides y nuevos equipos; todo esto permitió la introducción de los más recientes avances de la electrónica, la informática (hardware y software) y de las nuevas tecnologías en comunicaciones e información geográfica, que han hecho de la automatización de la hidroponía una realidad y una tendencia cada vez más generalizada con los consecuentes beneficios ambientales, económicos y de manejo<sup>4</sup>.

Los cultivos hidropónicos son ampliamente conocidos. Estos se introdujeron a nivel experimental desde los años cincuenta y desde esa época han venido desarrollándose y se han convertido en uno de los factores más importantes en el avance de la actividad agroindustrial a nivel nacional<sup>4</sup>.

La adquisición y el monitoreo de los datos que afectan directamente la calidad de la producción del cultivo que tradicionalmente es hecha manual y empíricamente por los agricultores haciendo impreciso conocer el momento exacto y el por qué, las variables cambian de tal manera que afecte la producción y aumenten los costos de esta.

El monitoreo en tiempo real y el acceso de esta información en red, usando las características propias del internet de las cosas como la implementación de una base de datos, el almacenamiento en la nube y la interacción con los dispositivos que controlan hacen parte de una revolución tecnológica que se ha venido implementando en el sector agrícola.

A nivel regional en la Universidad Surcolombiana, en el 2015, en el programa de Ingeniería Electrónica se implementó un sistema de monitoreo de variables fisicoquímicas para un cultivo acuapónico en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, utilizando software gratuito; concluyen que es muy fácil implementar un sistema de monitoreo remoto gracias a las tecnologías emergentes,

---

<sup>4</sup> DOUGLAS, James Sholto. Hidroponía: cómo cultivar sin tierra. 1997.

un buen diseño y la conceptualización del prototipo, resulta ser una alternativa eficiente<sup>5</sup>.

A nivel nacional existen varios estudios relacionados que contribuyen al mejoramiento de la producción y al control de variables determinantes para esta:

En el año 2014, en la Universidad San Buenaventura un estudiante desarrolló un prototipo de adquisición de variables ambientales en cultivos hidropónicos de lechuga, mediante una red de sensores, utilizando un sistema embebido; donde se observó que el sistema de monitoreo demostró ser una herramienta útil en el campo de la agricultura, específicamente en el seguimiento del cultivo hidropónico de lechugas. Permite no sólo observar la oportuna intervención que se requiere sino también el soporte importante de los sistemas de información durante el proceso de crecimiento.

Así mismo, se comprobó que la incorporación de los sistemas embebidos permite minimizar los costos y maximizar la versatilidad en el manejo de la información. Su portabilidad debido a su reducido tamaño permite un desempeño mejor y efectivo para el desarrollo de aplicaciones específicas mediante las diferentes características y periféricos que pueden ser adoptados por varios protocolos de comunicación<sup>6</sup>.

En el año 2016, en la Universidad Distrital se hizo el estudio de factibilidad del diseño y montaje de sistemas de cultivos hidropónicos de lechuga en un conjunto residencial, en donde concluyen que los criterios de manejo deben ser exquisitos para permitir a los cultivos que en todo momento estén en óptimas condiciones de desarrollo que permitan un correcto aprovechamiento de la solución nutritiva y se recomienda inspeccionar siempre los niveles de llenado del tanque de almacenaje de disolución nutritiva, el funcionamiento de la bomba y la potencia de su cabezal, la programación de los equipos automatizados, la calidad del agua de suministro así como los niveles de pH y conductividad eléctrica<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> ROJAS, Cristian Camilo; VALDERRAMA, Cristian Eduardo. Implementación de un sistema de monitoreo de variables fisicoquímicas para un cultivo acuapónico en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana. Neiva ,2015. Universidad Surcolombiana, Facultad de ingeniería.

<sup>6</sup> ORTEGA ORTIZ, Jazmin Carolina. Desarrollo de un prototipo de adquisición de variables ambientales en cultivos hidropónicos de lechuga, mediante una red de sensores, utilizando un sistema embebido. Bogotá DC, 2014. (Doctoral dissertation, tesis de maestría, Facultad De Ingeniería, Universidad De San Buenaventura).

<sup>7</sup>LADINO, Jhon Jairo, et al. Estudio de factibilidad del diseño y montaje de sistemas de cultivos hidropónicos de lechuga en conjunto residencial Okapi II en la ciudad de Bogotá. Bogotá DC ,2016. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad de ingeniería.

En el mismo año también en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se diseñó e implementó un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico, allí se pudo evidenciar que el control hidropónico funcionó como se requería. Cuando los valores se encontraron fuera de rango, el control actuó bajo los parámetros establecidos, estabilizando primero la conductividad y posteriormente el pH. Además, este proyecto abre la puerta a la aplicación de tecnologías integrales al ámbito de los cultivos hidropónicos con destinación a los hogares, de manera que se pueda contar con cultivos en casa bajo las condiciones óptimas para su crecimiento<sup>8</sup>.

A nivel internacional, también se han desarrollado aplicaciones tecnológicas a bajo costo, para el monitoreo de este tipo de cultivos:

En el 2006, la Universidad Tecnológica Nacional de Bahía Blanca, presentó un documento que evalúa las capacidades de la red GPRS para las aplicaciones de monitoreo remoto, presentando las ventajas y desventajas de este servicio.

Según el documento, las redes de telefonía celular GSM, a través del servicio GPRS, son una alternativa interesante al momento de seleccionar una tecnología de comunicación para los sistemas de supervisión remota. Si bien GPRS tiene un costo de utilización en función del volumen de datos transferidos, algunos aspectos favorables son: la baja inversión inicial y la simplicidad para transferir datos a cualquier sitio sin internet<sup>9</sup>.

También en el 2013 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación de Madrid, diseñaron e implementaron un sistema de control de temperatura a través de sistema embebido y estableciendo comunicación con la tecnología GSM/GPRS, logrando establecer un sistema de bajo costo y al alcance de un gran público<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup>AMAYA RINCÓN, Andrés; CRUZ VELÁSQUEZ, Leonardo. Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico. Bogotá DC ,2016. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad de ingeniería.

<sup>9</sup>FRIEDRICH, Guillermo Rodolfo; ARDENGHI, Jorge Raúl. Evaluación de las prestaciones de la red GPRS para aplicaciones de monitoreo remoto. En XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 2006.

<sup>10</sup>DOMÍNGUEZ, Alberto. Sistema de control de temperatura a través de Arduino y la tecnología GPRS GSM. EUIT Telecomunicaciones, Proyecto de Fin de Carrera. Madrid, España, 2013. E.U.I.T. Telecomunicación (UPM), ingeniería audiovisual y Comunicaciones.

## 2. MARCO TEÓRICO

El conocimiento exhaustivo tanto de las condiciones del cultivo de lechuga, como de los sistemas que se pretenden diseñar, los dispositivos específicos que cumplen con el requerimiento, sus características detalladas, permiten dar una solución más precisa y real del problema.

### 2.1. GENERALIDADES DE LA HIDROPONÍA

La reducción del espacio de suelo cultivable, la menor disponibilidad de agua saneada para el riego y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de las hortalizas, especialmente las de consumo en fresco, han hecho que las técnicas hidropónicas de cultivo sean potencialmente atractivas<sup>11</sup>.

En Latinoamérica, la hidroponía ha sido orientada para ayudar a solucionar los problemas de disponibilidad y a la vez de acceso de alimentos frescos y sanos, para ello va enfocada a la hidroponía popular con lo cual se realizan adaptaciones tecnológicas que puedan permitir el empleo de materiales locales o de aquellos que se puedan reciclar. En algunos países como Chile, Costa Rica, Colombia, Nicaragua y El Salvador, se han ejecutado proyectos de esta naturaleza con lo cual se ha contribuido a una mejora en la calidad de vida de las personas, siendo en su mayoría mujeres de aquellas comunidades beneficiadas, ya que por medio de las microempresas hidropónicas son autosostenibles, y sus productos obtenidos son de mejor calidad que aquellos cultivados en el sistema convencional<sup>12</sup>.

#### VENTAJAS

En la Tabla 1 se puede observar un comparativo de cultivos con suelo y sin suelo reflejando las ventajas que tiene el cultivo hidropónico frente a uno tradicional.

Otras ventajas del cultivo hidropónico son<sup>13</sup>:

- Aprovechamiento de suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.
- No contamina el medio ambiente.
- Menor consumo de agua y fertilizantes. La técnica es muy apropiada en zonas donde hay escasez de agua.
- Crecimiento más rápido y vigoroso de las plantas debido a que en un sistema hidropónico el agua y los nutrientes están disponibles de fácil acceso para la planta.

---

<sup>11</sup> CARRASCO SILVA, Gilda; Izquierdo, Juan. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Talca: Editorial Universidad de Talca, febrero de 1996.

<sup>12</sup> GODOY, Ángel Ignacio. Hidroponía: cultivos sin tierra. Guatemala, Editor Litogres, 2001.

<sup>13</sup> RODRÍGUEZ DELFÍN, et al. Manual práctico de hidroponía (No. 631.585 M294m). Lima: PE: Universidad Agraria La Molina, 2004.

Tabla 1. Análisis de cultivos tradicionales e hidropónicos o sin suelo.

Descripción	SOBRE SUELO	SIN SUELO
<b>Nutrición de planta</b>	Muy variable Difícil de controlar	Controlada, estable Fácil de chequear y corregir
<b>Espaciamiento</b>	Limitado a fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio y la luz
<b>Control de malezas</b>	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes
<b>Enfermedades y patógenos del suelo y nemátodos</b>	Enfermedades del suelo	No existen patógenos del suelo
<b>Agua</b>	<b>Plantas sufren estrés</b> <b>Ineficiente uso del agua</b>	No existe estrés hídrico Pérdida casi nula

Fuente: Universidad de OSAKA Japón, JICA, Curso de Horticultura Protegida 1998.

- La producción es intensiva, lo que permite tener mayor número de cosechas por año como se puede detallar en la
- Tabla 2.
- Los rendimientos obtenidos con hidroponía superan tremendamente a la producción en suelo.
- En la agricultura tradicional tanto la siembra como la cosecha se realizan en una misma fecha; en hidroponía estas labores se realizan en forma escalonada, lo cual permite llevar una programación de la producción.
- El uso de agua potable garantiza que el cultivo hidropónico sea un producto libre de contaminación y de enfermedades.
- Se obtiene un cultivo más sano e higiénico y, por lo tanto, son buenos para la salud.
- En la agricultura tradicional es necesario hacer una rotación de cultivos para evitar una infestación de nemátodos en las raíces. En un cultivo sin suelo no se presenta este problema y se puede trabajar continuamente como monocultivo.
- Además de la finalidad comercial, la técnica también puede ser usada con fines sociales para mejorar los ingresos de la población menos favorecida al generar autoempleo en sus propios hogares y, para mejorar la cantidad y la calidad de la alimentación familiar.
- Tiene una gran utilidad en las escuelas porque refuerza la enseñanza de las ciencias naturales y fomenta el cariño de los niños a la naturaleza. También puede generar ingresos a través de microempresas escolares.

Tabla 2.Comparación entre la producción en el suelo y cultivo hidropónico en algunos cultivos.

<b>CULTIVO</b>		<b>SUELO</b>		<b>HIDROPONÍA</b>	
<b>Clasificación</b>	Plantas/m <sup>2</sup>	Rendimiento (Ton/ha)	Plantas/m <sup>2</sup>	<b>Rendimiento (Ton/ha)</b>	
<b>Fresa</b>	5	10-12	10-16	60-80	
<b>Papa</b>	4	15-20	6-8	60-70	
<b>Tomate</b>	6	30-40	2-3	150-200	
<b>Vainita</b>	40	5-7	50-60	40-45	
<b>Yacón</b>	2	25-30	4-5	60-80	
<b>Clasificación</b>	Plantas/m <sup>2</sup>	Rendimiento (Docena/ha)	Plantas/m <sup>2</sup>	<b>Rendimiento (Docena/ha)</b>	
<b>Lechugas</b>	<b>6</b>	<b>5000</b>	<b>25</b>	<b>20000</b>	

Fuente: rendimiento en suelo en yacón, y papa: Programa de Papa, UNALM (2004) Fuente de rendimiento en suelo tomate y vainita Ugás, R et al (2000). Rendimientos obtenidos en diferentes ensayos en el CIHNM, UNALM

## DESVENTAJAS

Entre las desventajas se pueden señalar<sup>13</sup>:

- Inversión inicial elevada en cuanto a estructura se refiere.
- El desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos. El éxito de la producción hidropónica depende más del conocimiento del manejo agronómico (clima apropiado para el cultivo, siembra, riegos, control de plagas y enfermedades, etc.) que del conocimiento de la técnica en sí.
- La falta de experiencia en el manejo de las soluciones nutritivas puede alterar su composición y afectar la apariencia y calidad de las plantas.
- La falta de constancia y dedicación en las labores culturales pueden provocar una fuerte pérdida de plantas. No hay que olvidar que el éxito de cualquier negocio se basa en la dedicación y el esfuerzo de los que están comprometidos en él. Pues nada es fácil, todo se logra con cariño, esfuerzo y dedicación.

---

<sup>13</sup>RODRÍGUEZ DELFÍN, et al. Manual práctico de hidroponía (No. 631.585 M294m). Lima: PE: Universidad Agraria La Molina, 2004.

## 2.2. SISTEMAS HIDROPÓNICOS

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual o semiautomático, hasta los más sofisticados y completamente automatizados. No todo sistema es efectivo para todos los cultivos.

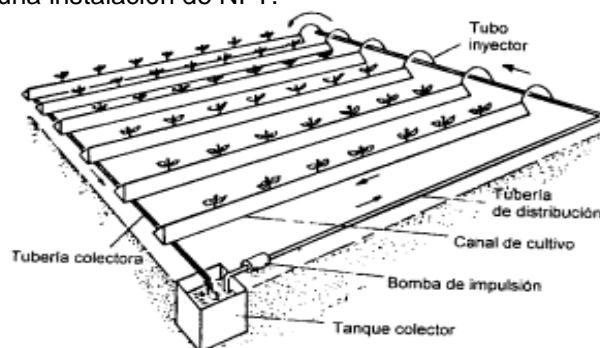
Los sistemas hidropónicos se pueden dividir en dos categorías:

- a) Sistemas hidropónicos en agua y,
- b) Sistemas hidropónicos con sustratos.

Los sistemas hidropónicos en agua son sistemas hidropónicos por excelencia; las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. En los sistemas con sustratos, las raíces de las plantas crecen y desarrollan en sustratos inertes; la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato humedeciendo las raíces. Entre los sistemas más conocidos están:

### TÉCNICA DE PELÍCULA NUTRITIVA (NFT)

Figura 1. Esquema de una instalación de NFT.



Fuente: Cooper (1979)<sup>14</sup>

El término NFT son las iniciales de Nutrient Film Technique y que traducido del inglés significa «la técnica de película nutritiva». También se le conoce como sistema de recirculación continua. El principio del sistema consiste en recircular continuamente la solución por una serie de canales de PVC (policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil) de forma rectangular y de color blanco, llamados canales de cultivo. En la Figura 1 se puede observar la estructura del sistema NFT. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas sostenidas por pequeños vasos plásticos, espuma o poliestireno expandido. Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes, y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución. Luego la solución es recolectada y almacenada en un tanque.

---

<sup>14</sup>COOPER, Allen. The ABC of NFT. Nutrient film technique. Grower Books. Londres, 1979.



Una electrobomba funciona aperiódicamente 6 veces durante 20 minutos de las 24 horas del día. Por los canales circula una película o lámina de apenas 3 a 5 mm de solución nutritiva. La recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro

adecuado de nutrientes minerales para las plantas. El sistema es muy usado para cultivos de rápido crecimiento como la lechuga y albahaca. Existen pequeñas áreas de NFT en diferentes países, pero Australia es el país donde es el principal sistema hidropónico.

## RAÍZ FLOTANTE O CULTIVO EN AGUA

Es un sistema hidropónico por excelencia porque las raíces de las plantas están sumergidas parcialmente en solución nutritiva. La principal técnica comercial es la Técnica de Flujo Profundo (DFT, Deep Flow Technique), donde planchas de poliestireno expandido flotan sobre una solución nutritiva aireada frecuentemente a través de una compresora. Este sistema ha sido adaptado para ser utilizado en proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos, generalmente para cultivar hortalizas de hojas, como diversas variedades de lechuga, albahaca, apio, menta, hierba buena, huacatay, entre otros. Para lograr una buena producción es muy importante airear la solución nutritiva<sup>14</sup>.

### 2.3. LA LECHUGA

La lechuga es un cultivo hortícola que es producido, prácticamente, en todo el mundo, si no es al aire libre, está bajo invernadero y es un cultivo cosmopolita<sup>15</sup>.

Es una planta anual para el caso de países con 4 estaciones (En horticultura y jardinería, las plantas anuales solamente viven o se cultivan en una temporada, por lo tanto, sólo un periodo vegetativo.) de días largos (que florecen principalmente en verano) y ciclo corto, que se consume en estado joven antes de subirse a la flor. Desarrolla una roseta de hojas enteras, susceptibles, según tipo, de formar cogollo. Después de acogollado, el tallo experimenta un alargamiento y el ápice evoluciona en escapo floral<sup>15</sup>.

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, la Asteraceae, conocida como Compositeae<sup>16</sup>. Su clasificación se puede observar en la

Tabla 3.

---

<sup>14</sup>COOPER, Allen. The ABC of NFT. Nutrient film technique. Grower Books. Londres, 1979.

<sup>15</sup>HALSOUET, Pantxika; MIÑAMBRES, Marcelino Santiago. La lechuga: Manual para su cultivo en agricultura ecológica. Ekonekazaritza. Navarra, Edita Bio Lur Navarra, 2005.

<sup>16</sup>SAAVEDRA, Gabriel. Manual de producción de lechuga. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. BOLETÍN INIA / No 09 ISSN 0717 – 4829. Santiago, Chile, 2017.

Tabla 3. Clasificación botánica de la lechuga.

REINO	VEGETAL
<b>Nombre común</b>	Lechuga
<b>Nombre científico</b>	Lactuca sativa L
<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Asteraceae
<b>Subfamilia</b>	Cichorioideae
<b>Tribu</b>	Lactuceae
<b>Genero</b>	Lactuca
<b>Especie</b>	Sativa L

Fuente: Libro, Manual de producción de lechuga. SAAVEDRA, Gabriel.

La lechuga se ubica en el grupo de las hortalizas de hoja y se consume prácticamente en fresco. Su importancia se ha incrementado en los últimos años, debido tanto a la diversificación, entre los que se incluyen las lechugas tipo Batavia, lisa o mantequilla, tipo Cos o Romana, las mini hortalizas tipo Baby Leaf, y las lechugas foliares lisas y crespas de diferentes tonalidades verdes, rojas y moradas, donde las principales especies empacadas son las diferentes clases de lechuga<sup>17</sup>.

En Colombia la lechuga es una hortaliza importante desde el punto de vista del área sembrada y el valor de la producción. Según Agronet<sup>18</sup> en el año 2016 se sembraron 4469; el departamento de Cundinamarca tiene la mayor participación (60,9%), seguido de Antioquia (15,0%) y Nariño (14,8%). en la

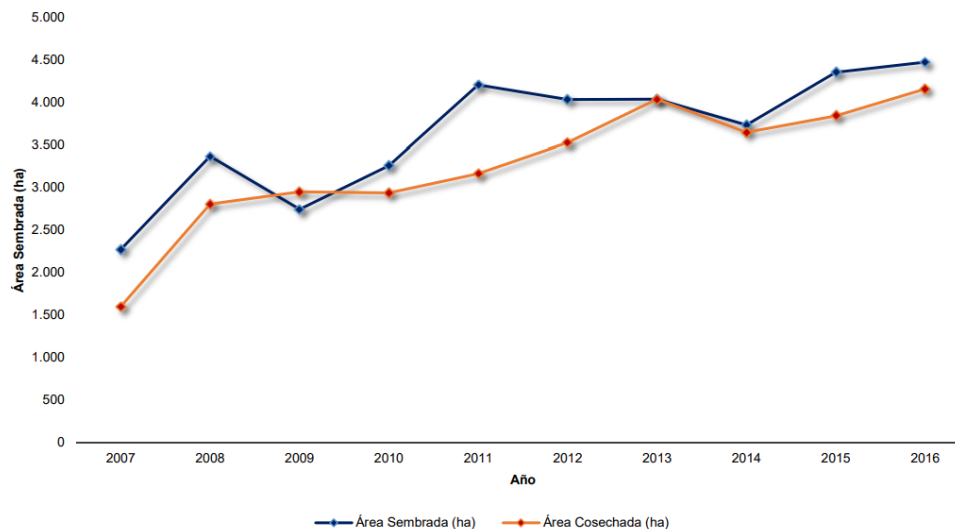
Figura 2 se observa el comportamiento del área sembrada y cosechada en el transcurso de 9 años en el Huila.

---

<sup>17</sup>JARAMILLO NOREÑA, Jorge. Modelo Tecnológico para el Cultivo de Lechuga Bajo Buenas Prácticas Agrícolas en el Oriente Antioqueño. Medellín: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Gobernación de Antioquia, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016.

<sup>18</sup> MINISTERIO DE AGRICULTURA. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Lechuga. [en línea] <http://www.agronet.gov.co/Documents/LECHUGA2016.pdf>. Visitado el 20 de enero 2019.

Figura 2. Área sembrada y área cosechada del cultivo de producción y rendimiento del cultivo de lechuga 2007-2016.



Fuente: <http://www.agronet.gov.co/Documents/LECHUGA2016.pdf>

## 2.4. SOLUCIÓN NUTRITIVA

El nutriente es un producto que contiene todos los elementos que necesitan las plantas para crecer y desarrollarse como son: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Cobre, Molibdeno, Boro y Zinc.

El nutriente hidropónico contiene y aporta en forma balanceada todos los elementos que una planta necesita para crecer sana, vigorosa y dar buenos frutos o cosechas. Existen varias fórmulas para preparar nutrientes y que han sido usadas en varios países. Una forma de preparar solución nutritiva que ha sido probada con éxito en varios países de América Latina y el Caribe para producir una gran variedad de hortalizas, plantas ornamentales y medicinales está compuesta de dos soluciones concentradas, las que se llaman: Solución Concentrada A y Solución Concentrada B. La solución concentrada A (Nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio); aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayor proporción o cantidad. La solución concentrada B (Azufre, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro) que aporta en cambio, los elementos nutritivos que son requeridos en menor cantidad o proporción, pero que son esenciales para que las plantas logren desarrollar en forma normal los procesos fisiológicos que la harán crecer y producir hermosos frutos y abundantes cosechas<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> IZQUIERDO, Juan. Hidroponía simplificada: cartilla de capacitación. Lima: Oficina Regional para América Latina y el Caribe OD-FAO, 2003. 3p.

Los componentes de la solución nutritiva se caracterizan por su alta solubilidad, se deberán elegir por tanto las formas hidratadas de estas sales. Seguidamente en la Tabla 4, se presenta una lista de las sales nutritivas más usadas en estos sistemas.

Tabla 4. Sales nutritivas.

Nombre	Fórmula	Solubilidad g/l
<b>Nitrato de calcio</b>	$\text{Ca}(\text{2NO}_3)_2$	1220
<b>Nitrato de potasio</b>	$\text{KNO}_3$	130
<b>Nitrato de magnesio</b>	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	279
<b>Fosfato mono potásico</b>	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	230
<b>Sulfato de magnesio</b>	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	710
<b>Sulfato de potasio</b>	$\text{K}_2\text{SO}_4$	111
<b>Sulfato de manganeso</b>	$\text{MnSO}_4$	980
<b>Ácido bórico</b>	$\text{H}_3\text{BO}_3$	60
<b>Sulfato de cobre</b>	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	310
<b>Sulfato de zinc</b>	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	960
<b>Molibdato de amonio</b>	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	<b>430</b>

Fuente: FAO, la empresa hidropónica de mediana escala, la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT), (1996)

## 2.5. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS EN LAS PLANTAS<sup>20</sup>

### Nitrógeno (N)

Forma absorbida: Nitrato ( $\text{NO}_3$ )- Amonio ( $\text{NH}_4$ ) +

- Forma parte del contenido de todas las proteínas en animales y vegetales
- Fundamental para el crecimiento vegetativo. Da el color verde intenso a las plantas, activa el rápido crecimiento, aumenta la producción de hojas, mejora la calidad de las hortalizas
- Constituyente de la clorofila que permite la fotosíntesis. Es un componente de ARN y ADN.
- Su deficiencia provoca bajos rendimientos, madurez prematura, hojas de color verde claro o amarillentas entre otras.
- Un exceso de este elemento se traduce en menor resistencia frente a las plagas y enfermedades, vuelco de las plantas, hojas de color verde azulado y retardo en la maduración.

<sup>20</sup> FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Funciones De Los Elementos En Las Plantas. Documentation [En línea]. 2019. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf)

### Fósforo (P)

Formas absorbidas: (HPO<sub>4</sub>)<sup>-</sup> - (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)

- Fundamental en la división celular
- Aporta energía durante la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos
- Facilita la formación rápida y crecimiento de las raíces
- Estimula la formación de semillas, da vigor a los cultivos para defenderse del rigor del invierno
- Regulador principal de todos los ciclos vitales de las plantas
- Su carencia se manifiesta por retraso en la floración y baja producción de frutos y semillas.
- Un exceso puede provocar la fijación de elementos como el zinc en el suelo

### Potasio (K):

Forma absorbida: K<sup>+</sup>

- Es el nutriente de mayor importancia cuantitativa y cualitativa en la producción vegetal
- Interviene activamente en el proceso de división celular regulando las disponibilidades de azúcares
- Interviene en los procesos de absorción de calcio, nitrógeno y sodio.
- Otorga vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas, ayuda a la producción de proteínas, se encarga del transporte de azúcares desde las hojas al fruto.
- Su carencia se manifiesta en forma de necrosis en los márgenes y puntas de las hojas más viejas, bajo rendimiento y poca estabilidad de la planta, mala calidad y alta pérdida del producto cosechado.
- En exceso bloquea la fijación de magnesio y calcio.

### Azufre (S):

Forma absorbida: (SO<sub>4</sub>)<sup>-</sup> -

- Indispensable para el proceso de formación de proteínas
- Participa en la síntesis de aminoácidos
- Muy importante en crucíferas (berros, brócoli, coliflor), leguminosas (arvejas, porotos, habas) y liliáceas (ajo, cebolla), ayuda al crecimiento más vigoroso de la planta, ayuda a mantener el color verde intenso, estimula la producción de semillas.
- Es un elemento poco móvil en la planta
- Sus síntomas carenciales en general no son muy visibles.
- Los efectos de su carencia tienden a manifestarse en primer lugar en los órganos jóvenes que presentan una clorosis ligada a una disminución del contenido de clorofila

### Calcio (Ca):

Forma absorbida:  $\text{Ca}^{++}$

- Nutriente esencial en las paredes de las células
- Mantiene la integridad de la membrana y forma parte de la enzima  $\alpha$ -amilasa
- Muy importante en la regulación del pH, fortalece las raíces
- Regula la absorción de nutrientes
- Elemento de baja movilidad en el xilema y menor aún vía floema.
- La característica esencial del calcio es su ausencia de movilidad en la planta a tal punto que, en el mismo vegetal, es posible observar simultáneamente hojas viejas que han acumulado concentraciones elevadas en calcio y hojas jóvenes que presentan signos de deficiencia.
- La carencia se manifiesta en los órganos jóvenes principalmente hojas; en los frutos, una mala nutrición cálcica es la causa de enfermedades fisiológica como la necrosis apical del tomate.
- Una toxicidad producirá deficiencia ya sea de Mg (Magnesio) o K (Potasio).

### Magnesio (Mg):

Forma absorbida:  $\text{Mg}^{++}$

- Núcleo central de la molécula de clorofila lugar donde se producen día a día los azúcares que permiten a la planta crecer y producir.
- La clorofila da el color verde a las plantas
- Papel predominante en la actividad de las enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos
- El magnesio también forma parte de la estructura del ribosoma.
- La deficiencia se hace presente en la pérdida de color entre las nervaduras
- Las hojas pueden volverse quebradizas y doblarse hacia arriba; las puntas y los bordes de las hojas pueden tornarse rojizo-púrpura.
- Su carencia se manifiesta en la planta por la presencia de hojas inferiores con insuficiencia de clorofila.
- Un exceso de este elemento provoca carencia de calcio.

### Zinc (Zn):

Forma absorbida:  $\text{Zn}^{++}$

- Es un componente de varios sistemas de enzimas importantes y controla la síntesis de los reguladores del crecimiento vegetal como la auxina (ácido indolacético e indol butírico). Estas sustancias de crecimiento son necesarias para el alargamiento de las células y tejidos.
- Puede ser absorbido también en forma de moléculas orgánicas complejas. La movilidad de este elemento es muy escasa; tiene tendencia a acumularse en las raíces y en las hojas viejas de la planta
- Su deficiencia produce clorosis en las hojas jóvenes, la detención de crecimiento del ápice, acortamiento de los entrenudos y disminución de la producción de semillas
- Su exceso trae consigo una deficiencia de hierro.

### Hierro (Fe):

Formas absorbidas: Fe+++ Fe++

- El hierro es necesario para la formación de la clorofila en las células de las plantas; aun cuando la molécula de clorofila no contiene Fe (Hierro), los cloroplastos son muy ricos en este elemento.
- El hierro juega allí un rol similar a aquel del Mg (magnesio) en la estructura de la clorofila.
- Actúa como activador de procesos bioquímicos como la respiración, la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno.
- El metabolismo del hierro en los vegetales se caracteriza por la ausencia de movilidad en la planta.
- La carencia provoca clorosis entre las nervaduras principalmente en las hojas más jóvenes, en ellas se manifiesta de manera muy característica: al comienzo esta decoloración alcanza sólo al limbo, quedando las nervaduras verdes que se destacan perfectamente de un fondo más pálido
- En exceso provoca manchas necróticas en las hojas.

### Cobre (Cu):

Forma absorbida: Cu++

- Es un catalizador del metabolismo vegetal, así como un componente de enzimas fundamentales como el polifenol oxidasa.
- El 70 por ciento de cobre se concentra en la clorofila, es un activador de varias enzimas, su función más importante se aprecia en la asimilación.
- El cobre tendría una movilidad "variable" en función del estado nutricional del vegetal: este elemento sería relativamente móvil en las plantas alimentadas normalmente, por el contrario, es móvil en las plantas deficientes.
- Cuando hay carencia de este elemento las hojas presentan un color verde oscuro y se enrollan.
- Su exceso es perjudicial ya que resulta tóxico para las raíces de las plantas.

### Manganeso (Mn):

Forma absorbida: Mn++

- El manganeso actúa como activador de enzimas esenciales en los procesos de crecimiento. Apoya al hierro en la formación de clorofila, acelera la germinación y la maduración, aumenta el aprovechamiento del calcio, el magnesio y el fósforo, catalizador en la síntesis de clorofila.
- En lo que se refiere a su repartición en la planta, las partes jóvenes del vegetal son a menudo las más ricas en Mn (Manganeso).
- Su carencia produce hojas viejas cloróticas con lesiones necróticas y malformadas; en las hojas jóvenes se aprecia clorosis intervenal.
- Los síntomas de un exceso de Mn (Manganeso) se observan en las hojas más antiguas como manchas café rodeadas por una zona clorótica o circular.

### Boro (B):

Formas absorbidas:  $(BO_3)^-$   $(H_2BO_3)^-$   $(HBO_3)^-$

- Aumenta el rendimiento o mejora la calidad de las frutas, verduras y forrajes, actúa sobre la fertilidad del tubo polínico y la translocación de azúcares.
- Forma numerosos complejos con los azúcares jugando un rol importante en el transporte de estos
- El boro es un elemento muy poco móvil y participa en la mantención de la elasticidad de las paredes celulares
- Esencial para la buena calidad de las semillas de leguminosas.
- Su carencia provoca muerte de los meristemos apicales debido a la disminución de los contenidos en ácidos nucleicos; las plantas presentan un aspecto de arbusto con muchas ramificaciones, la floración a menudo no existe y cuando hay frutos estos suelen estar mal formados
- El exceso provoca clorosis y quemaduras
- El rango entre suficiencia y toxicidad es muy angosto.

### Molibdeno (Mo):

Forma absorbida:  $(MoO_4)^{2-}$

- El rol principal del molibdeno es entrar en la constitución de dos enzimas importantes de la nutrición vegetal: la nitrogenasa que permite la fijación del Nitrógeno tanto por las bacterias fijadoras como por los microorganismos que viven en simbiosis con las plantas superiores; y el nitrato reductasa que es necesaria en la reducción de los nitratos a nitritos
- El molibdeno es un elemento relativamente móvil puesto que se observa una redistribución en la planta a partir de aplicaciones foliares
- En estado de carencia se desarrolla una clorosis que varía de color amarillo verdoso a naranja pálido pudiendo presentar necrosis, la floración puede ser suprimida, en las legumbres suelen presentar síntomas de deficiencia de Nitrógeno.
- Algunas plantas presentan deformaciones de los tallos y pecíolos
- El exceso no afecta a la planta, pero puede provocar problemas a los animales rumiantes que consuman plantas conteniendo 5 ppm (partes por millón) o más de Mo (Molibdeno).

### Cloro (Cl):

Forma absorbida:  $Cl^-$

- Está contenido normalmente en el agua potable.
- Se encuentra en contenidos similares a los elementos mayores (0,2 a 2 %), pero los contenidos suficientes son apenas de 0,03 a 0,12 % (340 a 1200 ppm (partes por millón))
- Es muy abundante en la naturaleza razón por la cual hay más información acerca de la toxicidad que de la deficiencia.
- Es necesario en reacciones fotosintéticas (Reacción de Hill)
- Es un agente osmótico que ayuda a la hinchazón celular de la planta



- Típicamente, las plantas deficientes en Cl (Cloro) exhiben una clorosis de las hojas jóvenes y marchitamiento de la planta. La deficiencia no es común en la mayoría de las plantas, sin embargo, en el trigo y la avena se ha observado el desarrollo de enfermedades.
- Un exceso de cloro produce un amarillamiento prematuro de las hojas, quemazón de las puntas y márgenes, bronceado y caída de estas.

## 2.6. POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)

Una de las variables importantes a considerar en la hidroponía para el cuidado de las plantas es el nivel de pH del agua del cultivo. El pH o potencial de Hidrógeno se refiere a la concentración de iones de Hidrogeno ( $H^+$ ), los cuales determinan el grado de acidez o alcalinidad de una solución.

El nivel de pH de la solución afecta las propiedades químicas de las sustancias que la componen, así como las propiedades de las raíces (particularmente, la carga eléctrica alrededor de ellas). La consecuencia es que hay sustancias que son más fáciles de absorber por las raíces a un cierto pH, y otras que requieren un pH diferente para ser absorbidas.

Las plantas asimilan mejor los nutrientes en un rango de entre 5.5 y 6.5. Es fundamental cuidar este punto ya que si los niveles de pH se salen de este rango la planta deja de nutrirse correctamente.

### *Unidad de Medida del pH*

El pH se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno y se presenta en una escala de 1 a 14. Son ácidas las sustancias con pH menores que 7 y alcalinas (o básicas) las de pH superiores a 7. El pH = 7 indica neutralidad de la sustancia.

## 2.7. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica refleja la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas y con la cantidad Total de Sólidos Disueltos (TDS), es decir principalmente sales minerales.

### *El Efecto de la Conductividad Eléctrica en las Plantas*

La conductividad eléctrica en realidad ofrece información sobre el nivel de salinidad. Altos niveles de salinidad pueden afectar a las plantas en varias formas:

- La toxicidad específica de un ion particular (como el sodio)

- La presión osmótica más alta alrededor de las raíces previene una absorción eficiente de agua por la planta.

En contraposición, un bajo nivel de salinidad puede indicar que la solución no contiene nutrientes suficientes para la planta. Por lo tanto, para el óptimo crecimiento de la planta, se requiere que la conductividad del agua se encuentre en un rango de valores adecuado, ya que un exceso o déficit en esta característica se traduce en afectación de la planta y por ende del cultivo.

#### *Unidades de Medida de la Conductividad Eléctrica del Agua*

Las unidades comúnmente utilizadas para medir la conductividad eléctrica del agua son:  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ó  $\text{dS}/\text{m}$  (micro Siemens por centímetro o deciSiemens por metro). En donde:  $1000 \mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{dS}/\text{m}$ . La solución nutritiva se debe tener en un rango de conductividad de 1.5 a  $2.5\text{mS}/\text{cm}^2$ .<sup>12</sup>

### 2.8. TEMPERATURA

La temperatura que requiere la lechuga permite que se cultive especialmente en las regiones templadas y subtropicales. Así esta hortaliza es un cultivo que se adapta mejor a las bajas temperaturas que a las altas. La temperatura óptima para el crecimiento oscila entre 18 a 23 °C, durante el día y 7 a 15 °C durante la noche, como temperatura máxima se puede considerar los 30 °C y mínimo puede soportar temperaturas de hasta -1 °C.<sup>21</sup>

La temperatura de la solución nutritiva también influye de manera drástica en el desarrollo de la planta; Si la solución está demasiado fría o caliente, los esquejes no enraizarán y las plantas tendrán un crecimiento lento.

El agua que se utiliza para la preparación de la solución nutritiva es agua común y corriente, a la temperatura normal (20-25 grados centígrados), aunque sería preferible utilizar agua destilada si su costo no fuera muy alto<sup>22</sup>.

### 2.9. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

#### ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

El prototipo SIMOHIDRO requiere una alimentación de 5 voltios y un consumo total de corriente aproximadamente de 1.5 amperios, tanto para los PIC como para los 8 módulos utilizados.

<sup>12</sup> GODOY, Ángel Ignacio. Hidroponía: cultivos sin tierra. Guatemala, Editor Litogres, 2001.

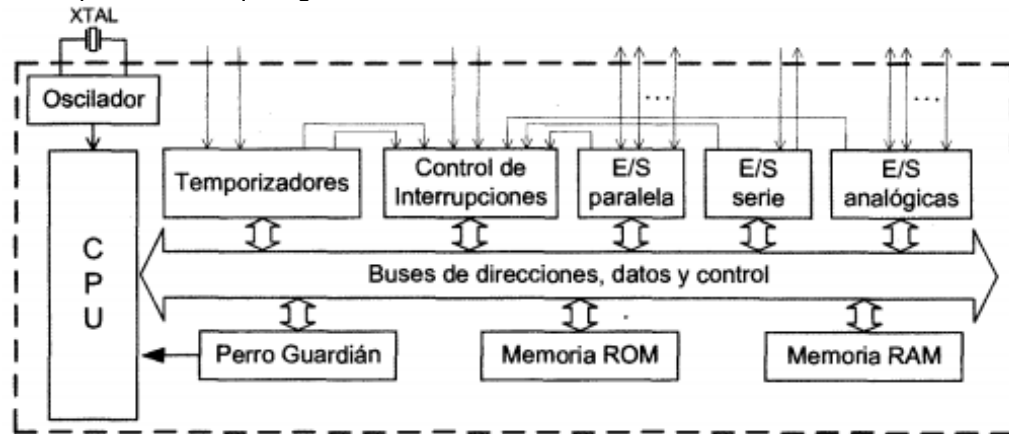
<sup>21</sup> JACQUES HERNÁNDEZ, Cuauhtemoc; Hernández, José Luis. Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). México: Revista: Naturaleza y desarrollo, 2005. 11- 16 p.

<sup>22</sup> MARULANDA, Cesar; IZQUIERDO, Juan. Manual técnico: La huerta hidropónica popular. Chile, FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997.

## MICROCONTROLADOR PIC

Los microcontroladores están presentes en muchos de los productos electrónicos que se emplean en nuestra vida cotidiana. Su enseñanza es un reto debido a la variedad de modelos existentes en el mercado y a la gran cantidad de aplicaciones posibles. Sin embargo, a pesar de la diversidad, hay unidad en los principios de funcionamiento y en las arquitecturas de estos.

Figura 3. Esquema de bloques general de un microcontrolador.



Fuente: PÉREZ, Fernando E. Valdés; ARENY, Ramón Pallás. Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC. Marcombo, 2007.

El nombre verdadero de este microcontrolador es PIC micro (Peripheral Interface Controller), conocido bajo el nombre PIC. Su primer antecesor fue creado en 1975 por la compañía General Instruments. Este chip denominado PIC1650 fue diseñado para propósitos completamente diferentes. Diez años más tarde, al añadir una memoria EEPROM, este circuito se convirtió en un verdadero microcontrolador PIC. Hace unos pocos años la compañía Microchip Technology fabricó la 5 billonésima muestra<sup>23</sup>.

Todos los microcontroladores PIC utilizan una arquitectura Harvard, lo que quiere decir que su memoria de programa está conectada a la CPU por más de 8 líneas. Hay microcontroladores de 12, 14 y 16 bits, dependiendo de la anchura del bus. En la Figura 3 expone en diagrama de bloques el esquema de un microcontrolador.

### CONVERSOR ANÁLOGO DIGITAL (ADC)

El conversor análogo digital es muy indispensable para el sistema, ya que las señales que se adquieren de los sensores algunas son análogas y es necesario convertirlas a señales digitales para poder ser procesadas y almacenadas por el PIC en la base de datos.

<sup>23</sup> MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Microchip, D. S. PIC 18F4550. Enhanced Flash Microcontrollers, with. 2009.

El ADC en el PIC18F4550 es de aproximación sucesiva con una resolución de 10 bits. La resolución indica cuánto se puede dividir la tensión de referencia. Para un ADC de resolución de 10 bits, es posible dividir hasta 1024 ( $2^{10}$ ) voltajes. Entonces, para un voltaje de referencia de 5v, el voltaje mínimo será  $5/1024 = 4.8\text{mV}$ . Esto significa que 4.8mv en el pin analógico se detectará como 1 y 9.6mv será 2 (10 en binario). No puede detectar la diferencia entre 1mV y 3mV, ya que ambos se detectarán como 0. Cuanto mayor sea la resolución, el ADC será mejor para detectar los pequeños cambios de voltaje<sup>24</sup>.

El PIC18F4550 tiene 13 canales, lo que significa que 13 señales de entrada analógicas se pueden convertir simultáneamente usando el módulo. Hay 8 entradas de reloj seleccionables disponibles para la conversión y el módulo se puede configurar en el modo de activación automática, pero para el sistema se usó solo una entrada con su respectivo reloj.

### COMPILADOR CCS

Para la programación del PIC cerebro del sistema; que consistió en la adquisición, procesamiento y almacenamiento de las señales proporcionadas por los sensores que representan finalmente las variables del cultivo ya antes mencionadas; se usó un compilador llamado PIC C Compiler.

PIC C Compiler es un inteligente y muy optimizado compilador C que contiene operadores estándar del lenguaje C y funciones incorporados en bibliotecas que son específicas a los registros de PIC.

El compilador CCS contiene más de 307 funciones integradas que simplifican el acceso al hardware, para que la producción sea más eficiente optimizando código<sup>25</sup>.

### PROGRAMADOR PICKIT 2.0

Figura 4. Programador Pickit 2.



Fuente: <https://www.cdmxelectronica.com/wp-content/uploads/2017/06/pickit-3-v6.png>

<sup>24</sup> ARANDA, Diego. Electrónica: Técnicas digitales y microcontroladores. Buenos aires: Editorial Ciudad Autónoma: Fox Andina, 2014.

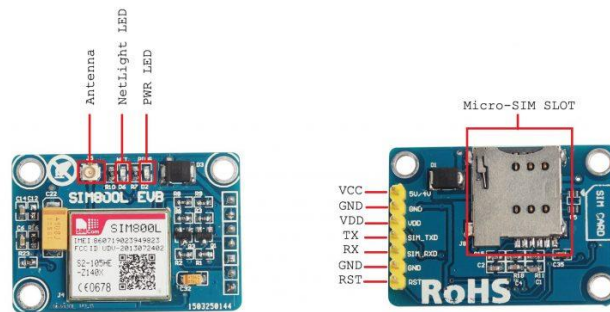
<sup>25</sup> CONDORI CABRERA, Jorge Luis. Diseño de un sistema de control y telemetría para grupos generadores hymoinsa. La Paz, 2016. 52p. Trabajo De Aplicación, Examen De Grado Nivel Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Tecnología. Carrera de electrónica y telecomunicaciones.

El programador PICKit 2, como se muestra en la Figura 4, permite la depuración y programación de microcontroladores PIC y dsPIC utilizando la potente interfaz del entorno de desarrollo integrado (IDE) MPLAB. La funcionalidad “Programmer-To-Go” consiste en que de una forma muy sencilla programa cualquier microcontrolador de las familias PIC16, PIC18, PIC24, dsPIC33F y PIC32 de Microchip sin necesitar de un ordenador<sup>26</sup>.

## MÓDULO GSM

El módulo GSM es un terminal pequeño de tarjeta SIM (tarjeta de telefonía móvil). Su función es muy similar a un teléfono móvil, y consiste básicamente en realizar llamadas y enviar mensajes de texto, tiene una antena GSM que comunica con las antenas base del operador móvil. En la Figura 5 se observa el detalle de los pines del módulo.

Figura 5. Módulo sim 800L.



Fuente: <https://www.faranux.com/product/sim800l-v2-0-5v-wirelessgsm-gprs-module-quad-band/>

Al contar con tecnología GSM es capaz de enviar datos de una manera más efectiva y de fácil acceso casi que en cualquier lugar donde exista señal móvil usando los comandos AT. Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal modem.

En un principio, fue desarrollado en 1977 por Dennis Hayes como un interfaz de comunicación con un modem para poder configurarlo y proporcionarle instrucciones, como marcar un número de teléfono. Más adelante, con el avance del baudio, fueron las compañías Microcomm y US Robotics las que siguieron desarrollando y expandiendo el juego de comandos hasta universalizarlo<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Pickit 2. Programmer/Debugger User's Guide. [En línea]. 2008. Disponible en: [https://www.mouser.com/datasheet/2/268/microchip%20technology\\_51553e-1181081.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/268/microchip%20technology_51553e-1181081.pdf)

<sup>27</sup> MORALES CHUQUIMARCA; Geovanny Alexis. Implementación de un telemando para mejorar la seguridad de un vehículo vía SMS. Quito, 2011, 14p. Proyecto previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería.

Los comandos AT se denominan así por la abreviatura de Attention (Atención). Aunque la finalidad principal de los comandos AT es la comunicación con módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales. Este juego de instrucciones puede encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite acciones tales como realizar llamadas de datos o de voz, leer y escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS, además de muchas otras opciones de configuración del terminal<sup>28</sup>. Los comandos ingresados para la configuración del sistema en la programación del módulo se podrán observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Comandos AT usados para establecer la conexión de la red móvil para el envío de información

AT	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN EL MÓDULO
ATE1	Activar eco de comandos
AT+CFUN=1	Establecer el modo de funcionalidad, por defecto funcionalidad completa.
AT+CIPMUX=0	Configura el dispositivo para una conexión IP única
AT+CIPMODE=0	Selecciona el modo de aplicación TCPIP, modo normal
AT+CSQ	Devuelve la intensidad de la señal de RF del dispositivo.
AT+CREG?	Proporciona información sobre el estado actual la red GSM
AT+CGATT=1	Inicia la conexión GPRS
AT+CSTT	Se define el APN, el nombre de usuario y la contraseña
AT+CIICR	Activa el perfil de datos inalámbrico
AT+CIFSR	Verifica que se obtenga una dirección IP para el módulo
AT+CIPSTART	Inicializa una conexión TCP o UDP.
AT+CIPSEND	Envía los datos a través de la conexión TCP o UDP.

Fuente: Autores.

## COMUNICACIÓN SERIAL

La comunicación serial es un protocolo muy común para comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora. La mayoría de las computadoras incluyen dos puertos seriales RS-232. Además, la comunicación serial puede ser utilizada para adquisición de datos si se usa en conjunto con un dispositivo remoto de muestreo.

<sup>28</sup> BLUEHACK. Comandos AT. 2005. [En línea] Disponible en: <http://bluehack.elhacker.net/proyectos/comandosat/comandosat.html>. Visitado el 26 de enero 2019.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: Tierra (GND), Transmisión (Tx), Recepción (Rx). Debido a que la transmisión es asincrónica (cuando no existe coincidencia temporal), es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. Las características más importantes de la comunicación serial son la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada, y la paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que las características sean iguales<sup>29</sup>.

### CONVERSOR USB TTL

El CP2102 es un controlador de puente USB-UART altamente integrado que proporciona una solución simple para actualizar RS-232, tiene puerto COM para aplicaciones de PC. En la Figura 6 se observa el modelo utilizado.

Figura 6. Conversor USB TTL CP2102.



Fuente: <http://www.servotronik.com.co/index.php/producto/conversor-usb-a-ttl-cp2102/>

Básicamente es ideal para comunicar un microcontrolador con una PC, interpretando todas las señales de lo que se podría llamar una comunicación serial, pero a través del puerto USB. Fue de gran utilidad para monitorear paso a paso de comunicación entre el PIC 18f4550 y el Módulo GSM sim 800L para verificar la respuesta del módulo a la hora de recibir los datos del PIC y de enviar los datos hacia la base de datos, para ser mostrados en la aplicación web<sup>30</sup>.

### MÓDULO DE RELOJ

Figura 7. Módulo DS3132.



Fuente: <http://www.servotronik.com.co/index.php/producto/modulo-reloj-ds3231-con-bateria/>.

---

<sup>29</sup> INSTRUMENTS, National. Comunicación Serial: Conceptos Generales. [En línea] 2014.

Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>

<sup>30</sup> SILICON LABORATORIES. Single-chip USB to UART bridge. [En línea] 2004. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/cp2102.pdf>

El módulo reloj DS3231 es una I2C extremadamente precisa, es un reloj en tiempo real (RTC) con un oscilador de cristal integrado compensado por la temperatura (TCXO) y cristal. El dispositivo incorpora una entrada de batería, y mantiene hora exacta cuando la alimentación principal al dispositivo se interrumpe. en la Figura 7 se puede observar el módulo por ambas caras.

El RTC mantiene segundos, minutos, horas, día, fecha, Información mensual y anual. Se ajusta automáticamente por meses con menos de 31 días, incluyendo correcciones por año bisiesto. El reloj funciona en formato de 24 horas o de 12 horas, con un indicador AM/PM<sup>31</sup>.

## MÓDULO LCD 16X2

El módulo LCD (pantalla de cristal líquido) de 16x2 se usa para variables aplicaciones en diferentes dispositivos y circuitos; son económicos, fácil de usar y programar, no tiene limitaciones de mostrar caracteres especiales. El termino LCD de 16x2 representa los 16 caracteres por línea y hay 2 líneas de este tipo.<sup>32</sup> En Figura 8 muestra en LCD comúnmente utilizado.

Figura 8. Módulo LCD 16x2.



Fuente: <https://hetpro-store.com/lcd-16x2/>

## SENSOR DE PH

Figura 9. Sensor de pH.



Fuente: <https://moviltronics.com.co/sensores/608-kit-de-medidor-de-sensor-de-ph-analogico-dfrobot-sen0161-para-arduino.html>

---

<sup>31</sup> MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, INC. Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. [En línea]. 2015. Disponible en: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>

<sup>32</sup> XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO., LTD. Specifications of LCD module. [En línea]. 2008. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>



El sensor de potencial de hidrogeno es un transductor que permite conocer el pH de una solución, esto lo realiza a través de un método electroquímico que utiliza una membrana de vidrio que separa dos sustancias con diferentes cantidades, el sensor es un elemento pasivo que genera una pequeña cantidad de corriente de acuerdo con el nivel de pH que se encuentre en el medio ambiente. El sensor pH V1.1 SKU, de la Figura 9: SEN0161 está diseñado para los controladores Arduino y tiene una conexión simple. Para usar se tiene que conectar el sensor de pH con el conector BNC y conectar la interfaz PH2.0 al puerto de entrada del microcontrolador<sup>33</sup>.

## SENSOR DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Figura 10. Sensor de electro conductividad SKU DFR0300.



Fuente: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/ File: DFR0300\\_V2.jpg](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/File:DFR0300_V2.jpg)

El Sensor EC Meter SKU: DFR0300, de la Figura 10, es un medidor analógico de electro-conductividad, especialmente diseñado para los controladores Arduino y que tiene incorporadas conexiones y características simples, convenientes y prácticas<sup>34</sup>.

## SENSOR DE TEMPERATURA

Figura 11. Sensor DS18B20.



Fuente: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>

<sup>33</sup> CONDE PÉREZ, Elvith Eddy. Diseño de un prototipo para el control y automatización de un sistema hidropónico en un invernadero. La Paz, 2017, 46p. Tesis de Grado para optar el título de licenciatura en informática. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Informática.

<sup>34</sup> DFROBOT. Analog EC Meter SKU: DFR0300. [En línea]. 2017. Disponible en: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Analog\\_EC\\_Meter\\_SKU:DFR0300?fbclid=IwAR1bKMelKSEWgXb7xt9YE9puxxPGPZLGpqr\\_Dy2ynJCq93khn-QwAhkU1Q](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Analog_EC_Meter_SKU:DFR0300?fbclid=IwAR1bKMelKSEWgXb7xt9YE9puxxPGPZLGpqr_Dy2ynJCq93khn-QwAhkU1Q)

El sensor de temperatura Arduino DS18B20, de la Figura 11, es útil para cuando se necesita medir algo lejos, o en condiciones húmedas, es bueno hasta 125 °C, el cable está revestido en PVC (policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil), por lo que se recomienda mantenerlo por debajo de 100 °C. Debido a que son digitales, no se produce ninguna degradación de la señal, incluso en largas distancias. El DS18B20 proporciona lecturas de temperatura de 9 a 12 bits (configurables) a través de una interfaz One Wire, de modo que sólo es necesario conectar un cable (y tierra) desde un microprocesador central. Se puede usar con sistemas de 3.0-5.5 voltios<sup>35</sup>.

### PROTOCOLO ONE-WIRE

Este protocolo permite que con un solo pin E/S hallan múltiples dispositivos que posean el mismo protocolo compartiendo uno solo pin, ya que el One Wire es una forma de comunicación serial asíncrona desarrollada por Dallas semiconductor.

El protocolo One-Wire tiene un estándar definido para las secuencias de transacciones y consta de cuatro partes: 1. Inicialización, 2. Comando de función ROM, 3. Comando de función de Memoria, 4. Transacción de datos.

### SENSOR DE ULTRASONIDO

Figura 12. Sensor ultrasónico HC-SR04.



Fuente: <https://www.amazon.co.uk/HC-SR04-Ultrasonic-Distance-RangeFinderDetection/dp/B0066X9V5K>

Los sensores ultrasónicos utilizan el sonido para determinar la distancia entre el sensor y el objeto más cercano en su camino. Operan a una frecuencia superior a la del oído humano. El sensor envía una onda de sonido a una frecuencia específica, este sigue el tiempo entre el envío de la onda de sonido y el regreso de la onda de sonido. La Figura 12 muestra el modelo de sensor utilizado.

La capacidad de un sensor para detectar un objeto también depende de la orientación de los objetos al sensor. Si un objeto no presenta una superficie plana al sensor, entonces es posible que la onda de sonido rebote en el objeto de manera que no vuelva al sensor<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> DFROBOT. Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor (SKU: DFR0198). [En línea]. 2017. Disponible en: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Waterproof\\_DS18B20\\_Digital\\_Temperature\\_Sensor\\_\(SKU:DFR0198\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor_(SKU:DFR0198))

<sup>36</sup> MORGAN, Elijah. HCSR04 Ultrasonic Sensor. [En línea]. 2014. Disponible en: [http://centmesh.csc.ncsu.edu/ff\\_drone\\_f14\\_finals/Sensor1/files/hcsr04.pdf](http://centmesh.csc.ncsu.edu/ff_drone_f14_finals/Sensor1/files/hcsr04.pdf)

## 2.10. LA NUBE

Para el Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías de Estados Unidos (NIST), *La Informática en la Nube* se define como:

“Un modelo para habilitar acceso conveniente por demanda a un conjunto compartido de recursos computacionales configurables (por ejemplo: redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios), que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo mínimo de administración o de interacción con el proveedor de servicios.”<sup>37</sup>

Particularidades de “la Nube”, El NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) describe cinco características esenciales de la Informática en la Nube, estas son:

- Rapidez y Elasticidad: Elasticidad se define como la habilidad para escalar recursos de forma ascendente y descendente según se necesite.
- Servicio Supervisado: En un servicio supervisado, los aspectos del servicio Cloud pueden seguirse, controlarse y notificarse, lo que aporta transparencia tanto para el proveedor como para el consumidor del servicio utilizado.
- Autoservicio bajo Demanda: Estos aspectos significan que un cliente puede usar servicios en la nube, según necesite sin ninguna interacción humana con el proveedor de los servicios.
- Ubicuidad de acceso de red: Acceso ubicuo a la red significa que las capacidades del proveedor de servicios están disponibles en la red y pueden ser accedidas a través de mecanismos estándar que fomentan el uso por parte de plataformas de clientes heterogéneas tales como teléfonos móviles, Notebooks, PDA (asistente digital personal), etc.
- Fondo común de Recursos: Éste permite a un proveedor de La Informática en la Nube servir a sus clientes a través de un modelo de multi posesión en el que los recursos computacionales se ponen en reservas en común para que puedan ser utilizados por múltiples clientes<sup>37</sup>.

---

<sup>37</sup> BARANOVIC, Lucas, et al. Informática en la Nube. Confidencialidad y Disponibilidad de los Datos. Santa Fe, 2011, 12-14p. Trabajo Integrador de Seminario de investigación. Licenciatura en Sistemas de Información.

## HOSTING Y DOMINIO

Hosting es una palabra del inglés que quiere decir dar hospedaje o alojar. Aplicado al Internet, significa poner una página web en un servidor de Internet para que ella pueda ser vista en cualquier lugar del mundo entero con acceso al Internet.

El hosting se puede dividir en varios tipos generales:

- Hosting gratuito: El hosting gratuito es extremadamente limitado comparado al hosting de pago. Los proveedores de alojamiento gratuito normalmente requieren sus propios anuncios en el sitio alojado de forma gratuita y tienen límites muy grandes de espacio y de tráfico.
- Hosting de imágenes: Alojando solamente algunos formatos de imágenes. Este tipo de alojamiento normalmente es gratuito y la mayoría requieren que el usuario se registre.
- Hosting compartido: El alojamiento compartido es cuando un mismo servidor aloja a varios cientos de sitios Web de clientes distintos.
- Hosting dedicado: Con el alojamiento dedicado, uno consigue un servidor sólo para él. No tienen ninguna restricción, esto puede ser costoso, pues la contratación del servidor dedicado en sí es generalmente más costosa comparada al alojamiento compartido<sup>38</sup>.

Simplificándolo mucho, el dominio sería el nombre único y exclusivo que se le asigna a la página web en Internet, gracias al dominio que se vincula a la página web, aquellos usuarios que busquen en Internet por el nombre de la web le será más fácil de encontrar y podrán acceder a todo contenido.

Los nombres de dominio permiten desvincular a las páginas web de las direcciones IP de los servidores en los que se guardan los archivos de tu web. Es decir que, si, por ejemplo, la página web alojada en un servicio de hosting gratuito, y se quiere mejorar las prestaciones de la página web cambiándola a una empresa que te ofrezca servidores con un mejor rendimiento, solo habrá que migrar los archivos de la web al nuevo servicio y configurar el dominio para que apunte a la dirección del nuevo servidor.

---

<sup>38</sup> MONTALVÁN MENDOZA, Edwin Danny, et al. Manual e implementación de un servidor Hosting utilizando Linux para que residan Páginas Web. Latacunga, 2009, 16-17p. Proyecto de Graduación Previo a la Obtención del título de Tecnólogo en Computación. Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Tecnología en Computación.

## APLICACIÓN WEB

Una aplicación Web es una interfaz o conjuntos de páginas Web que interactúan con el usuario final, de esta manera permiten el acceso a la información solicitada y se toma los datos propios del modelo de negocio, así cualquier persona puede interactuar con ella desde Internet por medio de un navegador Web<sup>39</sup>.

Las características de las aplicaciones Web son:

- Fácil Acceso
- El usuario puede ingresar a la aplicación Web desde cualquier parte del mundo, donde tenga acceso a Internet.
- Pueden existir miles de clientes que acceden al mismo tiempo a dicha aplicación; por lo tanto, se puede actualizar y mantener una única aplicación y todos sus clientes verán los resultados inmediatamente.
- Utilizan tecnologías como ASP.NET, AJAX, FLASH, JavaScript, HTML, JSP, PHP entre otras que brindan un gran interfaz de usuario.

### Estructura de las Aplicaciones Web

Normalmente una aplicación Web en su interior es una estructura de tres capas, en la primera capa corresponde a lo que se puede visualizar en un navegador Web o más conocida como la capa de presentación, se encuentra también la capa conocida como la de negocio, la misma que puede usar en la actualidad tecnologías Web dinámicas como: PHP, JAVA, ASP.NET, por último se tiene la que corresponde a la Base de Datos o más conocida como accesos a datos, determinada por un software de gestión de manejo de datos por ejemplo MySQL<sup>39</sup>.

## BASE DE DATOS

El objetivo principal de las bases de datos es el de unificar los datos que se manejan y los programas o aplicaciones que maneja.

Figura 13. Logotipo phpmyadmin y mySQL.



fuelle: <https://www.phpmyadmin.net/>

---

<sup>39</sup> MORA, Sergio. Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web. Editorial Club Universitario. Alicante: Editorial Club Universitario. 2002.

El software *MySQL*, logo en la Figura 13, proporciona un servidor de base de datos SQL (Structured Query Language), es un sistema gestor de bases de datos muy conocido y ampliamente usado por su simplicidad y notable rendimiento <sup>40</sup>. Aunque carece de algunas características avanzadas disponibles en otros Gestores de Bases de Datos del mercado, es una opción atractiva tanto para aplicaciones comerciales, como de entretenimiento precisamente por su facilidad de uso y tiempo reducido de puesta en marcha.

## FRAMEWORK

Los Frameworks para PHP, son un conjunto de archivos PHP que vienen preparados con toda la estructura necesaria para desarrollar varios tipos de proyectos.

Desarrollar un proyecto en PHP, muchas veces requiere escribir todo el código desde cero, lo que no es muy práctico. Para ello se puede de aplicar e implementar códigos ya desarrollados para funciones frecuentes (Insertar, Recupera Datos, Autenticarse en el sistema, etc.) que se encuentran disponibles en los frameworks, que hará óptimo el trabajo y centralizar el esfuerzo específicamente en la lógica de la aplicación<sup>41</sup>.

## CODEIGNITER

Figura 14. Logotipo CodeIgniter



Fuente: <https://www.codeigniter.com/>.

CodeIgniter es un kit de herramientas para las personas que crean aplicaciones web utilizando PHP. Su objetivo es permitirle desarrollar proyectos mucho más rápido de lo que podría si estuviera escribiendo código desde cero, al proporcionar un amplio conjunto de bibliotecas para las tareas más comunes, así como una interfaz simple y una estructura lógica para acceder a estas bibliotecas.

CodeIgniter está licenciado bajo la licencia MIT por lo que se puede usar como se quiera, utiliza el enfoque Modelo-Vista-Controlador, que permite una gran separación entre lógica y presentación<sup>42</sup>. Logo en la Figura 14.

---

<sup>40</sup> PAVÓN, Jacobo. Creación de un portal PHP y MySQL. México: Grupo Alfa Omega, 2008.

<sup>41</sup> GUTIÉRREZ, Javier. ¿Qué es un framework web? [En línea]. 2013. Disponible en: [http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion\\_ficheros/Framework.pdf](http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion_ficheros/Framework.pdf)

<sup>42</sup> BRITISH COLUMBIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. CodeIgniter at a Glance. [En línea]. 2014. Disponible en: [https://www.codeigniter.com/user\\_guide/overview/at\\_a\\_glance.html](https://www.codeigniter.com/user_guide/overview/at_a_glance.html)

## MODELO VISTA CONTROLADOR

CodeIgniter se basa en el patrón de desarrollo Modelo-Vista-Controlador. MVC es un enfoque de software que separa la lógica de la aplicación de la presentación. En la práctica, permite que sus páginas web contengan secuencias de comandos mínimas ya que la presentación es independiente de las secuencias de comandos de PHP.

El *modelo* representa sus estructuras de datos. Normalmente, sus clases modelo contendrán funciones que lo ayudarán a recuperar, insertar y actualizar información en su base de datos.

La *vista* es la información que se presenta a un usuario. Una vista normalmente será una página web, pero en CodeIgniter, una vista también puede ser un fragmento de página como un encabezado o pie de página. También puede ser una página RSS, o cualquier otro tipo de "página".

El *controlador* sirve como intermediario entre el modelo, la vista y cualquier otro recurso necesario para procesar la solicitud HTTP y generar una página web<sup>43</sup>.

## BONFIRE

Figura 15. Logotipo Bonfire.



Fuente: <https://cibonfire.com/>

Bonfire es un marco para su aplicación web, construido sobre el marco de PHP CodeIgniter que acelera más los tiempos de desarrollo. Logo de Bonfire en la Figura 15. no es un cms (sistema de gestión de contenidos), sino un punto de partida para nuevos proyectos que requieren herramientas como:

- Robusto control de acceso basado en roles
- Código fuente completamente modular. Construido alrededor de HMVC (Hierarchical Model View Controller o Modelo Vista Controlador Jerárquicos).
- Copia de seguridad de la base de datos, migración y mantenimiento.

---

<sup>43</sup> BRITISH COLUMBIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. CodeIgniter at a Glance. [En línea]. 2014. Disponible en: [https://www.codeigniter.com/user\\_guide/overview/mvc.html](https://www.codeigniter.com/user_guide/overview/mvc.html).

*Registro de actividades.*

Esta biblioteca proporciona una manera simple de registrar las actividades de los usuarios.

### *Herramientas de base de datos*

Permite explorar rápidamente su base de datos, realice copias de seguridad, restaure viejos paquetes y mantenga su base de datos versionada con Migraciones. A diferencia de las migraciones integradas de CodeIgniter, Bonfire las extiende para permitir que el núcleo, su aplicación y cada módulo mantengan su propio conjunto de migraciones.

### *Configuraciones*

Se puede almacenar fácilmente la configuración de toda la aplicación en la base de datos, lo que permite a sus usuarios cambiar la configuración de manera simple y fácil.

### *Contextos*

Contenido, Informes, Configuración y Desarrollador. Estas cuatro categorías son lo que Bonfire llama Contextos; es una forma de agrupar contenido relacionado de diferentes módulos.

Se pueden crear tantos contextos personalizados como se desee, e incluso eliminar los contextos de Contenido e Informes, para satisfacer las necesidades de su aplicación. La configuración y los contextos de desarrollador son una parte central de cómo funciona Bonfire y no se pueden eliminar; sin embargo, los contextos no tienen que ser visibles para todos los que usan su área de administración. Se pueden ocultar individualmente por rol de usuario.

### *Módulos*

Bonfire es principalmente una colección de módulos que manejan todas las diversas partes. Esto facilita la creación de sus propios módulos que pueden reutilizarse y distribuirse con un mínimo de trabajo.

Si se navega por el proyecto, en la carpeta principal de Bonfire, se encuentra la siguiente estructura de carpetas como se observa la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción módulos Bonfire.

CARPETA	PROPÓSITO
<b>Aplicación</b>	Contiene los archivos principales de Bonfire y los módulos principales
<b>CodeIgniter</b>	Contiene los archivos del sistema CodeIgniter
<b>Módulos</b>	Contiene sus propios módulos personalizados
<b>Themes</b>	Contiene todos los temas

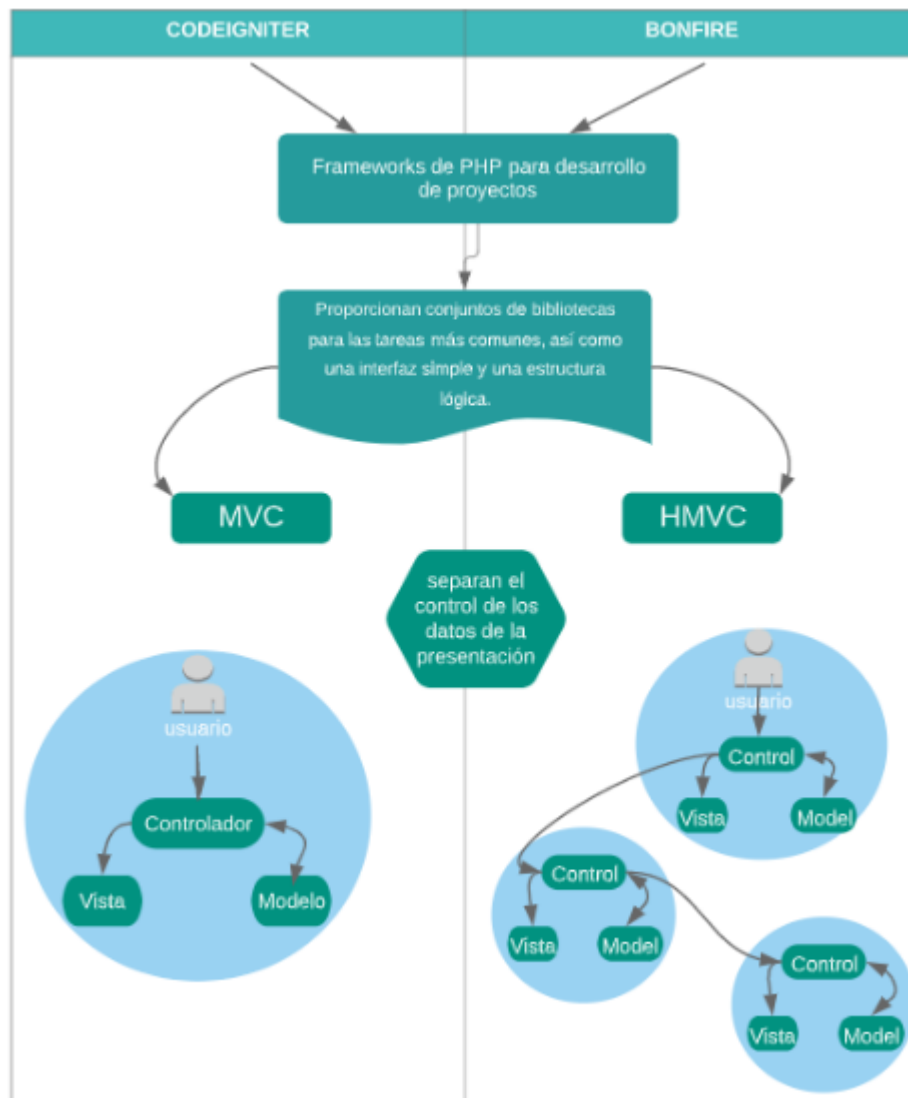
Fuente: [https://cibonfire.com/docs/developer/getting\\_started\\_with\\_bonfire](https://cibonfire.com/docs/developer/getting_started_with_bonfire)



Un módulo es una miniaplicación que puede contener activos (como CSS o JS), archivos de configuración, controladores, modelos, bibliotecas, ayudantes y vistas.<sup>44</sup>

A continuación, la Figura 16, describe en forma resumida el funcionamiento de los frameworks utilizados.

Figura 16. Diagrama de los frameworks.



Fuente: Autores.

<sup>44</sup>EZELL, Lonnie; JENKINS, Alan. Getting Started with Bonfire. [En línea]. 2018. Disponible en: [http://cibonfire.com/docs/developer/getting\\_started\\_with\\_bonfire](http://cibonfire.com/docs/developer/getting_started_with_bonfire)

### 3. PROTOTIPO DEL SISTEMA DE MONITOREO HIDROPÓNICO – SIMOHIDRO

#### 3.1. ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ENVÍO DE INFORMACIÓN.

El microcontrolador PIC 18f4550, se encarga de hacer la parte más importante dentro del sistema, controla la adquisición de datos, procesa y envía información; a continuación, una descripción de cómo se desarrolló esta parte significativa del proyecto, llegando al corazón de éste, que implica el programa desarrollado en PIC C Compiler, el cual hace posible la adquisición, procesamiento y el envío de la información.

En su primera fase, se identifican cuántas y cuáles entradas/salidas se usan según la necesidad, es importante a la hora de hacer las declaraciones de variables de datos que ingresan, teniendo clarísimo las principales variables de proceso que juegan el rol vital, así que, se evaluó cada una de estas de manera más detallada para conocer específicamente que rangos o límites se manejó.

Tabla 7. Identificación de E/S a usar sobre el PIC 18f4550

Sensor/Módulo	Entrada	Salida	Digital	Analógico	Cantidad	voltajes
pH	X			X	1	-414 a 414mV
Electro conductividad	X			X	1	0-5v
Distancia	X		X		2	0-5v
Temperatura	X		X		1	0-5v
LCD	X	X	X		6	0-5v
Módulo GSM	X	X	X		3	0-5v
Módulo Reloj	X	X	X		2	0-5v

Fuente: autores.

Tabla 8. Rangos para que la lechuga se mantenga en óptimas condiciones

VARIABLE	RANGO APROPIADO
pH	5.5 - 6.5
EC	1.4-2.5 mS ó 896 -1600ppm
Temp.	20-25 °C
Nivel	>100L

Fuente: autores.

Dada la información de la Tabla 7 y Tabla 8, se hace el acondicionamiento de las señales de los sensores para normalizar los datos y poder procesarlos más fácilmente.

Para la adquisición de datos se usó los sensores de temperatura, EC y pH; de la casa DFRobot.

La conductividad eléctrica depende directamente de la temperatura de la solución, el aumento de ésta causará una disminución en su viscosidad, aumento en la disociación de moléculas y en la movilidad de los iones, por ende, conducirá al aumento de su conductividad eléctrica, por esto fue necesario hacer una compensación de temperatura.

Se tomó como temperatura de referencia 25° C, citando el procedimiento estandarizado ISO 7888-1985. La compensación de la temperatura requiere que se aplique un algoritmo a la lectura de conductividad y temperatura medida.

Para una compensación de temperatura lineal<sup>45</sup>, se aplicó la ecuación 1.

Ecuación 1. Compensación de Temperatura Lineal.

$$k_t = k_{tr}(1 + \alpha\Delta t)$$

Donde:

$k_t$ ; es la conductividad electrolítica a la temperatura  $t$ ,

$k_{tr}$ ; es la conductividad electrolítica a la temperatura de referencia  $tr$ ,

$\Delta t$ ; es la diferencia de temperatura  $t - tr$ ;

$\alpha$ ; es el coeficiente de temperatura dado en %.

El coeficiente de temperatura,  $\alpha$ , es la velocidad de cambio porcentual de la conductividad con un aumento de la temperatura (%/°C), y será diferente para cada mezcla de solvente/soluto.

La ecuación 2, es suficientemente exacta para un pequeño rango de temperatura.

Ecuación 2. Coeficiente de Temperatura

$$\alpha_{t,tr} = \frac{1}{k_{tr}} * \left( \frac{k_t - k_{tr}}{t - tr} \right) * 100$$

A continuación, con el sensor de electro conductividad y el algoritmo desarrollado en PIC C Compiler, primero se tomaron diferentes lecturas del valor analógico, se calculó el promedio para luego convertirlo a un valor en voltaje de 0 – 5v, esto a la temperatura de referencia,  $tr = 25^\circ\text{C}$ , usando la solución de conductividad de 1413 $\mu\text{S}$  y 12.88mS, que proporciona el kit que viene con el sensor que se muestra en la Figura 10.

$$\begin{aligned} V_{tr}(1413\mu\text{S}) &= 141.6 \text{ mV} \\ V_{tr}(12.88\text{mS}) &= 712.8.6 \text{ mV} \end{aligned}$$

---

<sup>45</sup> NORMAS ISO. Determinación de la conductividad eléctrica. ISO 7888:1985. ISO/TC 147/SC 2 - Physical, chemical and biochemical methods. 1985.

Para encontrar  $\alpha$ , se usó la solución de  $1413\mu S$ , teniendo en cuenta el rango de medición que se necesita para la lechuga es 1.4 a 2.5mS, entonces se repite el procedimiento anterior con este buffer, pero con una temperatura de  $30^{\circ}C$ .

$$V_t(1413\mu S) = 156.25 mV$$

Se observa que las etiquetas de las soluciones proporcionan una tabla de conductividad a diferentes temperaturas a las que podría ser expuesta, que se muestra en la Tabla 9 y sirvió también de referencia para verificar los cálculos; se usa la ecuación 2;

$$\alpha_{30,25} = \frac{1}{1413\mu S} * \left( \frac{1548\mu S - 1413\mu S}{30 - 25} \right) * 100 = 1.91\%$$

Teniendo  $\alpha$ , se halla la conductividad eléctrica a esa temperatura, para lo cual se toma la ecuación 1;

$$k_{30} = (1413\mu S) * \left[ 1 + \left( \frac{1.91\%}{100\%} \right) * (30 - 25) \right] = 1547.9\mu S$$

Se puede verificar este resultado en la Tabla 9, observando la fila de  $30^{\circ}C$ .

Tabla 9. Conductividad a diferentes temperaturas.

$^{\circ}C$	$\mu S$	$mS$
15	1147	10.48
20	1278	11.67
23	1359	12.39
24	1386	12.64
25	1413	12.88
28	1494	13.62
30	1548	14.12

Fuente: Autores.

Ahora como lo que se necesita es estos valores de conductividad en términos de voltaje se toma la ecuación 3.

Ecuación 3. Voltaje de Conductividad en función de Temperatura.

$$V_{C_t} = (V_{tr}) * \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{100} \right) * (t - tr) \right]$$

Esta ecuación se emplea en el código que va programado en el PIC; de esta manera se adquiere y procesa la señal analógica que proporciona el sensor de electro conductividad con su respectiva compensación de temperatura.

Por otra parte, el medidor de pH que se usó tiene características integradas y convenientes para un práctico manejo, el cual consta de un indicador de alimentación, un conector BNC que permite un buen acoplamiento sin interferencias para una mejor lectura y, además, cuenta con un sistema que ayuda a la calibración de este llamado ajuste de potencial de ganancia.

La casa DFRobot trae consigo un manual de instrucciones para un adecuado manejo del dispositivo justo con Arduino, pero en el caso del sistema solo se usó el medidor, pues la programación para su funcionamiento se hizo en PIC C Compiler para el microcontrolador ya antes mencionado.

Su código se podría resumir de la siguiente forma:

Para realizar un código que permita un buen funcionamiento del medidor es importante entender que el valor arrojado por el electrodo es analógico como se observa en la Tabla 10, sabiendo los rangos del pH para así comprender sus equivalencias de acuerdo con cada salida medida.

Tabla 10. Características del sensor de pH.

<b>Voltaje (mv)</b>	<b>pH valor</b>	<b>Voltaje (mv)</b>	<b>pH valor</b>
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.00	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Fuente: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH\\_meter\(SKU: SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161))

Luego de la declaración de las variables, varias muestras de datos de pH analógico sin procesar se ensamblan en un buffer o memoria temporal de información digital, luego en orden se organizaron los datos y después se tomó el promedio de los valores para una lectura absoluta y posteriormente se muestra en la pantalla LCD.

Ya obtenido el código que permite visualizar el valor del pH se hacen las pruebas necesarias pero no sin antes calibrarlo adecuadamente con los buffers de calibración en polvo (Figura 17), la solución se prepara con 250ml de agua destilada; cada buffer trae el valor del pH que el electrodo debería medir; si la lectura no es precisa, se ajusta el potenciómetro de ganancia llevándolo al valor correspondiente al de la etiqueta; este mismo proceso se repite para ambas sustancias las cuales permiten que el sensor esté debidamente calibrado.

Figura 17. Polvo Buffer para calibración de pH.



Fuente: Autores.

Se hicieron varias pruebas de diferentes sustancias caseras para comprobar su óptimo funcionamiento y por último se juntó con todo el resto de código que permite el total funcionamiento del sistema.

En cuanto al nivel del tanque se usó un contenedor con capacidad de 200L, pero como inicialmente no se tenía la plena seguridad de su capacidad y se necesita sólo 100 litros para hacer la solución que alimenta el cultivo fue indispensable usar la ecuación 4 para calcular el volumen de tanque.

Ecuación 4. Ecuación del Volumen Cilíndrico.

$$V = \pi r^2 h$$

Donde: V es el volumen, r es el radio y h es la altura. Haciendo las respectivas medidas del tanque, se obtuvo:

$$\text{Diametro}(d) = 55\text{cm}$$

$$\text{Radio}(r) = 27.5\text{cm}$$

$$\text{altura}(h) = 84\text{cm}$$

Por lo tanto;

$$V = \pi * (27.5\text{cm})^2 * 84\text{cm} = 199.57\text{cm}^3$$

Luego, para obtener el valor en litros (L) solo basta con dividir el valor en 1000 y de esta manera se tiene que  $V = 199,569 \text{ L}$ , aproximadamente 200 litros.

Con esta misma ecuación se hicieron las equivalencias para detectar los niveles máximos y mínimos del agua en litros (L) de acuerdo con la distancia en cm y así poder diseñar el código que necesita el sensor ultrasónico. Es importante aclarar que, si cambia la forma, como la capacidad o distancia de donde se pretende instalar el sensor, es necesario hacer los ajustes adecuados para que las lecturas sean veraces.

Tabla 11. Nivel del tanque

TANQUE	ALTURA	DISTANCIA (cm)	VOLUMEN (L)
Lleno	Máxima	46	197.2
Estable	Óptima	73	133
Vacío	Baja	101	66.52

Fuente: Autores.

Con los datos proporcionados y organizados en la Tabla 11, se creó el código apropiado para el funcionamiento del sensor ultrasónico de la siguiente forma:

Se definen las variables que se van a usar durante todo el proceso, luego como ya antes se había mencionado la forma como opera el sensor para medir la distancia es enviando un pulso de sonido por medio del *Trigger* que dura encendido 20 microsegundos ( $\mu s$ ) a su vez, lee e inicia el conteo del tiempo en que el *Echo* está encendido o en alto ya que es un sensor maneja señales digitales; con este tiempo se puede calcular la distancia a la cual la señal digital rebota, usando la ecuación 5.

Ecuación 5. Ecuación de Distancia.

$$Distancia = tiempo * \frac{velocidad\ del\ sonido}{2}$$

Después de hallar la distancia se hace un ajuste dependiendo de la ubicación del dispositivo restando la distancia hallada a la distancia original donde se instala el sensor para tener el valor real y así poder hallar el volumen usando la ecuación anteriormente mencionada.

Finalmente, por medio de ciclos de programación se muestra en la pantalla LCD no sólo el valor del volumen que es debidamente enviado y almacenado en la base de datos al tiempo que da a conocer el estado del nivel de tanque como se indica en la relación de la Tabla 11. En la implementación de este sensor, fue necesario usar una conexión directa con el PIC 16f877A que se encargó de recibir el pulso del sensor ultrasónico y ejecutar una rutina para calcular la distancia para luego, mediante la comunicación serial por software envíe el dato al PIC maestro 18F4550 y lo reciba convirtiéndolo en términos de volumen.

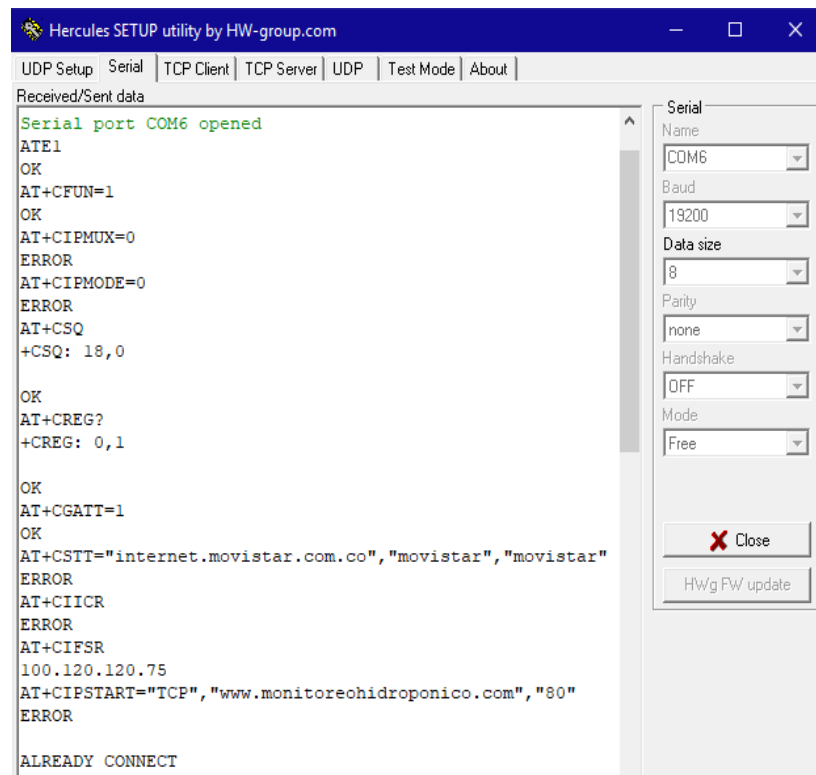
Esta implementación que se acaba de mencionar fue necesaria debido a la distancia que tiene el dispositivo con respecto al tanque, esto hacía que la señal del sensor se perdiera y sólo llegara ruido al PIC 18F4550, además este microcontrolador tenía ya sus canales ocupados recibiendo las señales de los demás sensores y por eso se dejó solo el sensor ultrasónico con su respectivo PIC cerca del tanque.

El módulo DS3132, (Figura 7), inicialmente se programó para que la hora y la fecha sea configurada manualmente por medio de dos interruptores y la pantalla LCD, después de ello se adjunta la información actualizada al PIC, para que junto con las demás variables adquiridas sean enviadas, registradas y almacenadas, en el servidor web, para tener el control en tiempo real el cual se necesita para hacer el recuento histórico en la base de datos y a partir de este poder mostrar en gráficas temporales el comportamiento de estas.

El conjunto de datos de cada variable, así como todo el proceso paso a paso, es exhibido mediante una pantalla LCD 16x2, que permite al usuario una lectura directa del estado de las variables en tiempo real; el conjunto de los datos también es enviado a la nube para continuar con su debido proceso.

En cuanto al módulo de comunicación, sim 800L GSM, permite mediante comandos AT, citados en la Tabla 5; recibir órdenes del PIC, utilizando el puerto serial del PIC y seguidamente, ya con la información de cada una de las variables, aportando con su gran tarea de enviar todo el conjunto de información en una trama de datos usando el protocolo HTTP con el método GET, como se muestra en la Figura 18.

Figura 18. Monitoreo de órdenes del PIC 18f4550 y respuesta del módulo GSM sim 800L, por medio del puerto serie utilizando el software Hércules y el módulo TTL-USB.

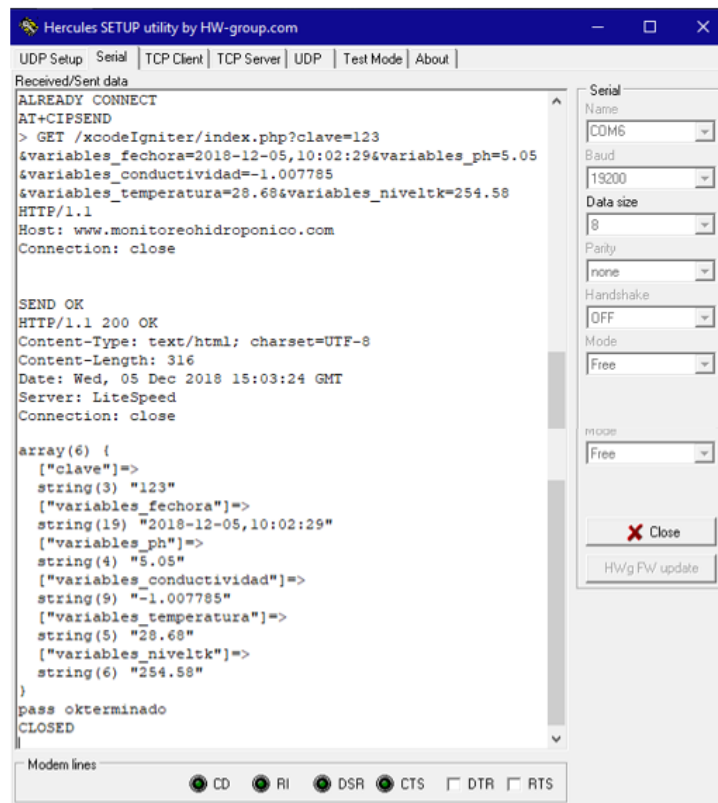




Fuente: Autores.

El protocolo HTTP, por sus siglas en ingles Hipertext Transfer Protocol, permite realizar una petición de datos y recursos en la web, este tiene una estructura cliente-servidor, como se observa en la Figura 19, el comando at+cipsend dice que ya se puede iniciar la petición cuando responde con el siguiente símbolo: >. Luego de unos segundos el servidor responde SEND OK, el encabezado HTTP y el HTML de la página web de respuesta, en donde se redirige la información de las variables hacia la base de datos; al final CLOSED, significa que se ha cerrado la conexión con el servidor web.

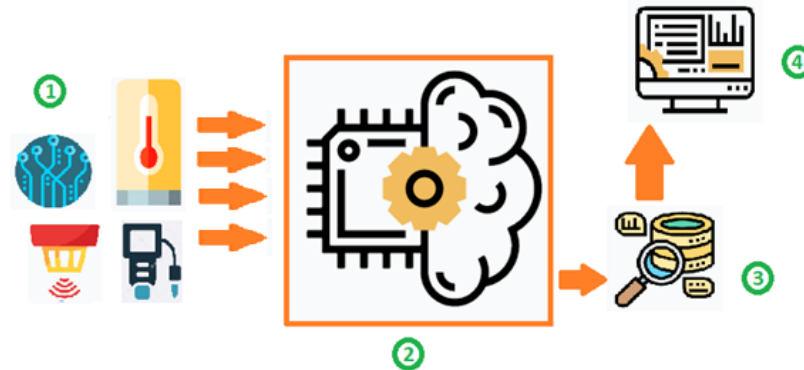
Figura 19. Petición HTTP que hace al módulo GSM y respuesta del servidor web.



Fuente: Autores.

Por último, se probó todos los módulos y sensores en conjunto, verificando que funcionan correctamente, enviando la información a la web, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Pruebas de adquisición y envío de información.



Fuente: Autores.

En donde;

1. Son las entradas de las señales de los 4 sensores que representaron las variables como pH, temperatura, conductividad y nivel.
2. El sistema adquiere la señal mostrando en una pantalla LCD y envía a la nube.
3. La información queda almacenada en una base de datos
4. Mediante la página web diseñada se observó la información almacenada y deseada por el usuario o cliente.

En el proceso de la siembra y trasplante de la lechuga, se hizo de la siguiente manera:

- Se compró semilla de la Figura 21 llamada lechuga crespa Simpson, en bandejas germinadoras se agregó abono o turba estéril junto con la semilla después de 36 horas de imbibición, pues la semilla fue colocada en una servilleta húmeda para que esta absorba suficiente agua e inicie su proceso de germinación.
- Las plántulas luego de 40 días de germinación se trasplantaron a la estructura de PVC (policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil) del sistema hidropónico cuando la raíz alcanza una longitud de 5 cm.
- Un día antes de la trasplantación se instaló el prototipo SIMOHIDRO en una estructura elevada y aislada para que no se filtrara la lluvia o el exceso de sol, garantizando así el funcionamiento óptimo.
- Se recogió información de un cultivo hidropónico antes de la cosecha para hacer un comparativo de los resultados obtenidos con las lechugas con respecto a otro cultivo sin algún sistema de monitoreo para demostrar cómo influye en la producción eficiente para el productor, así como, saludable y rica para el consumidor final.

Figura 21. Semilla de lechuga utilizada para la plantación.



Fuente: Autores.

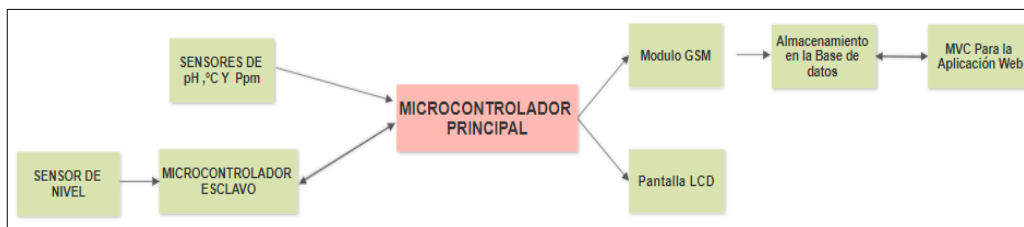
## CIRCUITO

El diseño del circuito se realizó paso a paso cumpliendo con los requerimientos del sistema embebido, pues a medida que se avanzó con todo el proceso cada elemento es una pieza fundamental y se puede sintetizar en los siguientes componentes ensamblados en el sistema: Sensores, Módulo GSM, Módulo para la hora, microcontroladores, elementos resistivos y capacitores que permiten el buen funcionamiento del módulo GSM como se puede ver en la Figura 22.

El conjunto de todos estos componentes y unidos con su respectivo funcionamiento, hicieron un prototipo totalmente funcional y único para las necesidades de un cliente que desee invertir en su negocio hidropónico de lechuga a un precio asequible con buenas utilidades y resultados favorables en su producción.

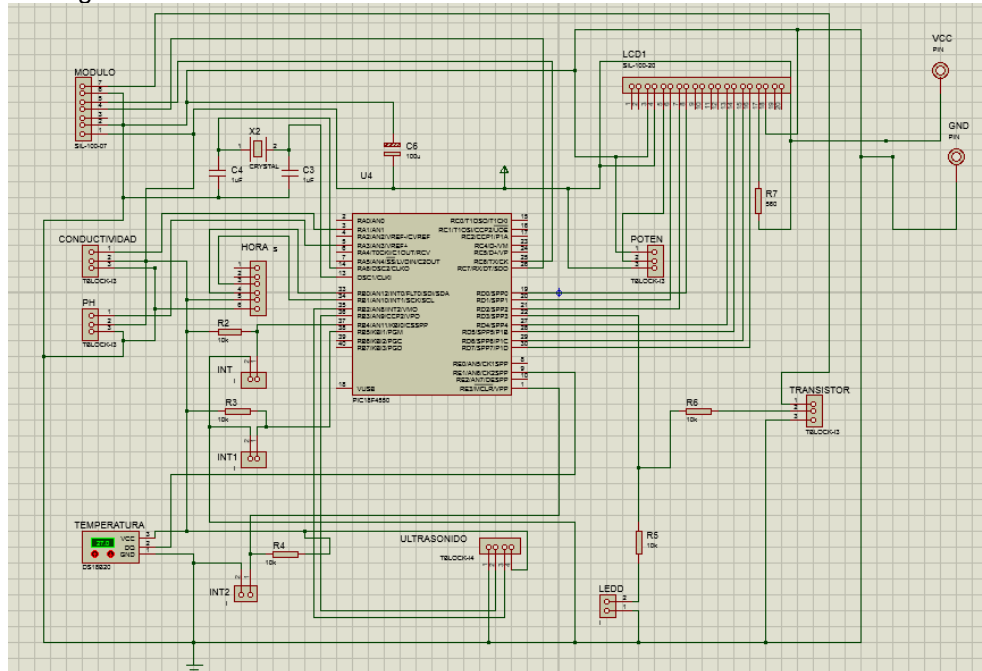
A continuación, se presentarán los esquemas diseñados en Proteus versión 8 profesional respectivos del sistema embebido diseñado.

Figura 22. Diagrama de flujo, funcionamiento del SIMOHIDRO.



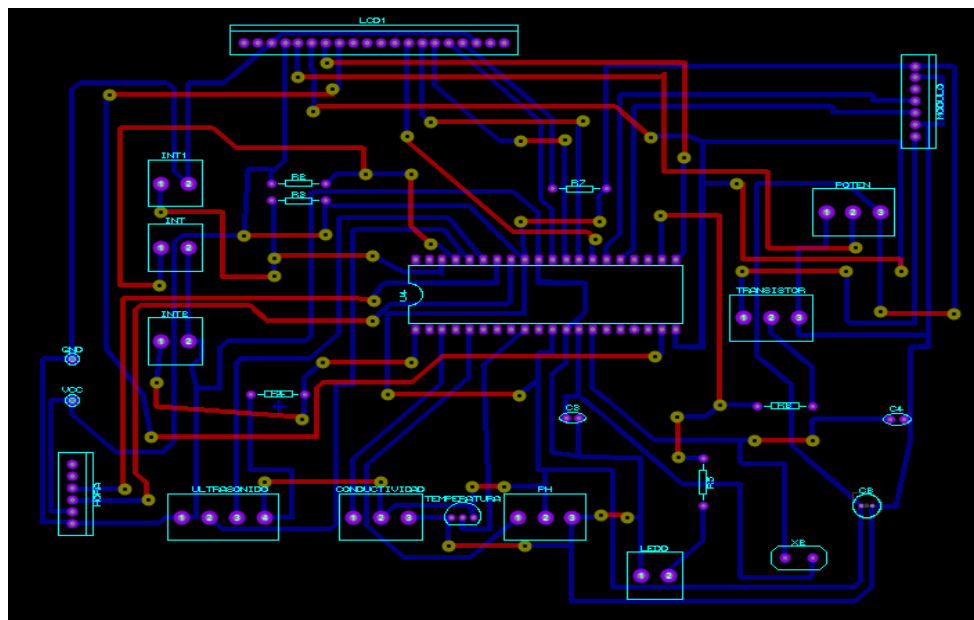
Fuente: Autores.

Figura 23. Diagrama simulado en Proteus.



Fuente: Autores.

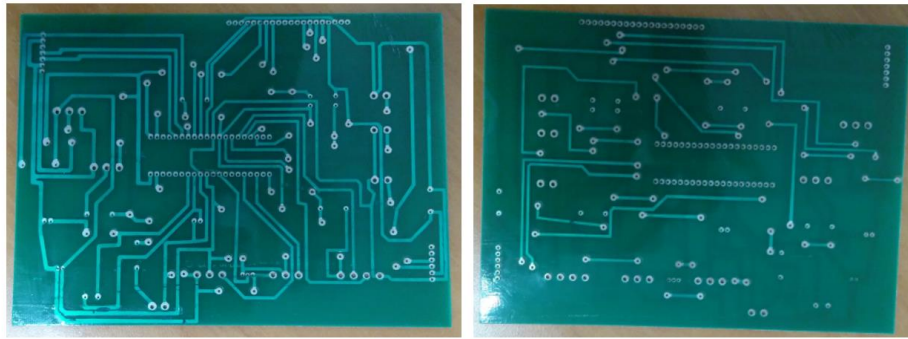
Figura 24. Diagrama del Diseño PCB para imprimir diseñado en Proteus.



Fuente: Autores.

Luego de obtener el respectivo diseño (Figura 24) a partir de la simulación (Figura 23) se imprimió el circuito y debido a la cantidad de elementos que pertenecen a él, fueron necesarias dos líneas de cobre, es decir ambos lados de la placa tienen líneas que permiten la conexión de todos los elementos, como se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Reverso y anverso de la placa PCB.



Fuente: Autores.

### 3.2. PÁGINA WEB

La página web fue pensada como una interfaz útil y practica para el usuario, para que éste tenga de manera ágil en cualquier parte del mundo la información correspondiente a su cultivo siempre y cuando se tenga acceso a la internet.

La importancia de una interfaz amigable con el usuario hace que sea fácil su acceso y sobre todo ahorre tiempo en dado caso donde se quiera tener los datos al instante.

### SERVIDOR

La elección del servidor es fundamental para un buen funcionamiento del sistema; la importancia de elegir la mejor opción repercute en una amplia capacidad de almacenamiento a un precio moderado por parte del hosting, con la certeza que el costo que se asume es anualmente no se incremente; pues la mayoría de los proveedores ofrecen precios bajos de hosting y dominio sólo por el primer año, de ahí en adelante el usuario tendrá que pagar 4 y 5 veces más el precio inicial.

Para hacer la publicación de la página web, se contrató un servicio de hosting y dominio con una empresa tolimense llamada CREASOTOL; el hosting en Linux con soporte PHP 5.3 / MYSQL 5, con derecho a 2 bases de datos, 500MB de almacenamiento y una transferencia de 100.000 MB; en cuanto al dominio se validó como: [www.monitoreohidroponico.com](http://www.monitoreohidroponico.com), el cual estaba disponible y es un nombre fácil de recordar.

Dichas características se ajustan a las necesidades del sistema, tanto económica como funcionalmente.

## BASE DE DATOS

Con la obtención del hosting, se pueden acceder a varios servicios que viene incluidos en su paquete; uno de ellos es phpMyAdmin que es un software de código abierto, diseñado para la administración y gestión de bases de datos MySQL a través de una interfaz gráfica de usuario. Esta aplicación es muy útil y compatible debido a que fue escrito en PHP lo cual lo hace muy eficaz y fue de gran ayuda para cumplir el objetivo principal que se quiso en un monitoreo como lo fue obtener los datos almacenados en orden y disponibles a cualquier hora.

La programación inicial con nombres propios para cada variable en esta aplicación, son el punto de partida para la unión de todo el sistema en conjunto, estableciendo comunicación con el módulo GSM y a su vez siendo consultado por Bonfire para la visualización adecuada de los datos almacenados en ella.

## FRAMEWORK

Se usaron los frameworks de PHP CodeIgniter y Bonfire, de los cuales se hizo descripción general en la sección 5.18.4 del capítulo 5 de este libro; estas herramientas de software facilitaron la programación y el diseño visual, minimizando la cantidad de código para cada tarea.

CodeIgniter. en primera medida, es donde se configura el acceso a la base de datos y la tabla que contiene las variables, es decir los parámetros del host, usuario, contraseña y nombre; ésta que fue previamente creada manualmente en el hosting adquirido.

En segundo lugar, recibe los datos que son enviados desde el Módulo SIM 800L como una petición HTTP, se programó el módulo de aplicación de este framework para que por medio del método GET recibiera y a la vez almacenara esta información en la base de datos de MySQL, en otras palabras, CodeIgniter hace las veces de puente entre la adquisición y el almacenamiento de los datos.

Bonfire, por su parte, con su paquete de bibliotecas y plantillas permite la visualización de la interfaz con sus herramientas, se usó la capeta principal *application*, en donde se crearon los módulos principales del aplicativo web, que se dividió en: usuarios, bienvenida, gráficos y monitoreo. Se aprovechó la ventaja donde para cada módulo se pudo reutilizar código llamando por ejemplo el mismo encabezado y pie de página.

El módulo de usuarios hace la consulta a la base de datos de los usuarios registrados en ella, así se valida cuando el usuario va a iniciar sesión en el aplicativo web.

El módulo de bienvenida es solo informativo y contiene los objetos (botones) que enseñan las secciones creadas:



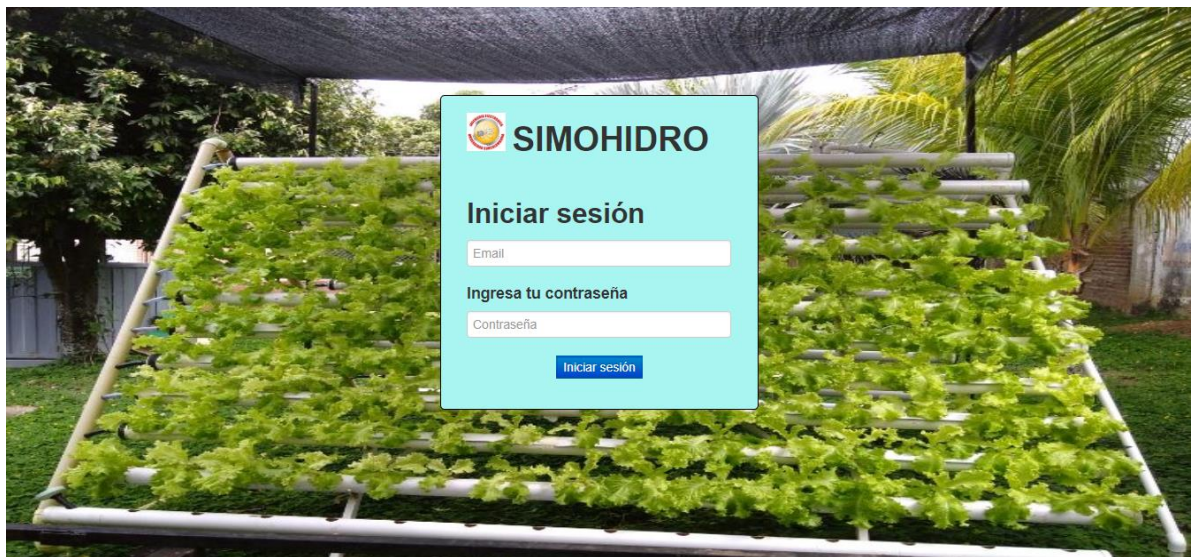
La sección de gráficos genera consultas al servidor en la base de datos para trazar las gráficas en un intervalo de tiempo digitado por el usuario, para fines estadísticos y comportamentales de cada una de las variables del proceso en el transcurso del tiempo de la cosecha.

La sección de monitoreo enseña en tiempo real el ultimo registro actualizado en la base de datos, de las variables del proceso del cultivo.

## DISEÑO

La página cuenta con una interfaz primaria en la que el usuario puede iniciar sesión ingresando correo y contraseña, los cuales han sido creados y predeterminados por los desarrolladores y administradores del sitio, esto para brindar privacidad y seguridad de la información que se presentará. A continuación, en la Figura 26 se puede observar la descripción ya planteada:

Figura 26. Interfaz de ingreso al usuario.



Fuente: [www.monitoreohidroponico.com](http://www.monitoreohidroponico.com)

Al iniciar sesión, se mostrará la interfaz de bienvenida en donde se expone brevemente el significado y la función de SIMOHIDRO; en la parte superior el usuario podrá disponer de dos botones principales: Monitoreo, Variables y Salir.

Figura 27. Interfaz de bienvenida.

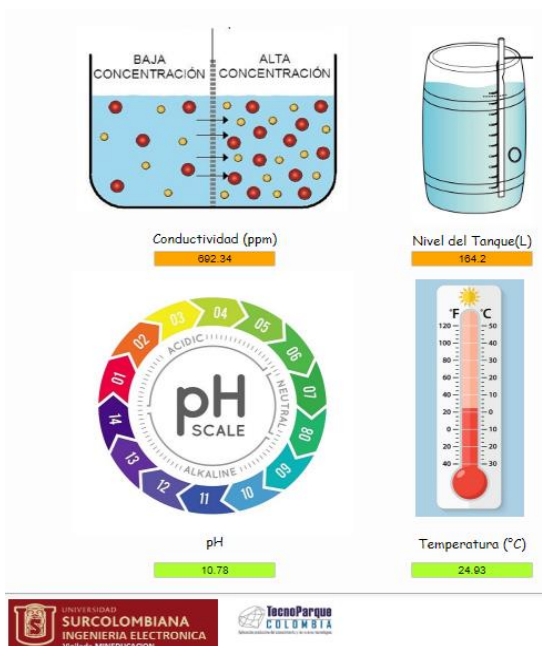


Fuente: [www.monitoreohidroponico.com](http://www.monitoreohidroponico.com)

Como se observa en la Figura 27, la Interfaz de bienvenida tiene tres botones; Monitoreo, Variables y Salir. El botón de Monitoreo; se redirige a una vista en tiempo real el último dato almacenado en la base de datos indicando a que variable de proceso pertenece (Figura 28).

Figura 28. Captura de pantalla valores en tiempo real de las variables de proceso.

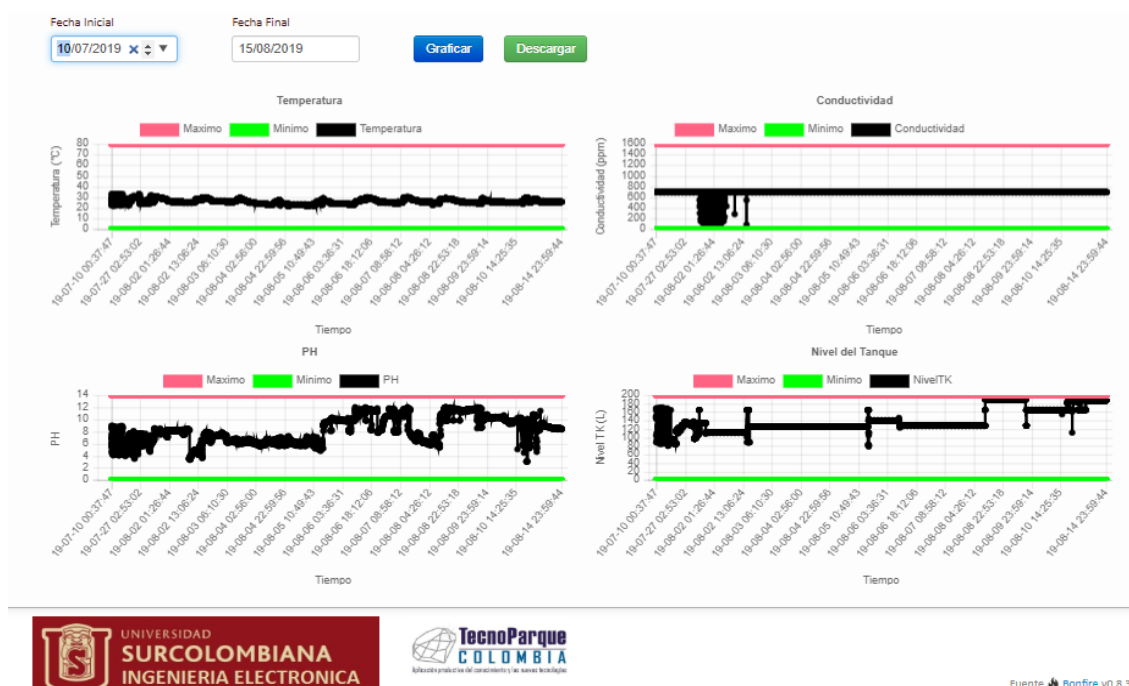




Fuente: [www.monitoreohidroponico.com](http://www.monitoreohidroponico.com)

El botón de Variables; redirige la página a la interfaz en donde se presentan los gráficos temporales respectivos de cada variable (Figura 29), en donde el usuario podrá consultar con el rango de tiempo que elija, allí también se tiene la opción de exportar en un documento tipo Excel la consulta realizada.

Figura 29. Gráficas de comportamiento.



Fuente: [www.monitoreohidroponico.com](http://www.monitoreohidroponico.com)

#### 4. MODELO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

SIMOHIDRO es un sistema de monitoreo que junto con el aplicativo web se hace más completo y permite al cliente obtener los datos requeridos del cultivo en cualquier momento a tan sólo unos cuantos clics.

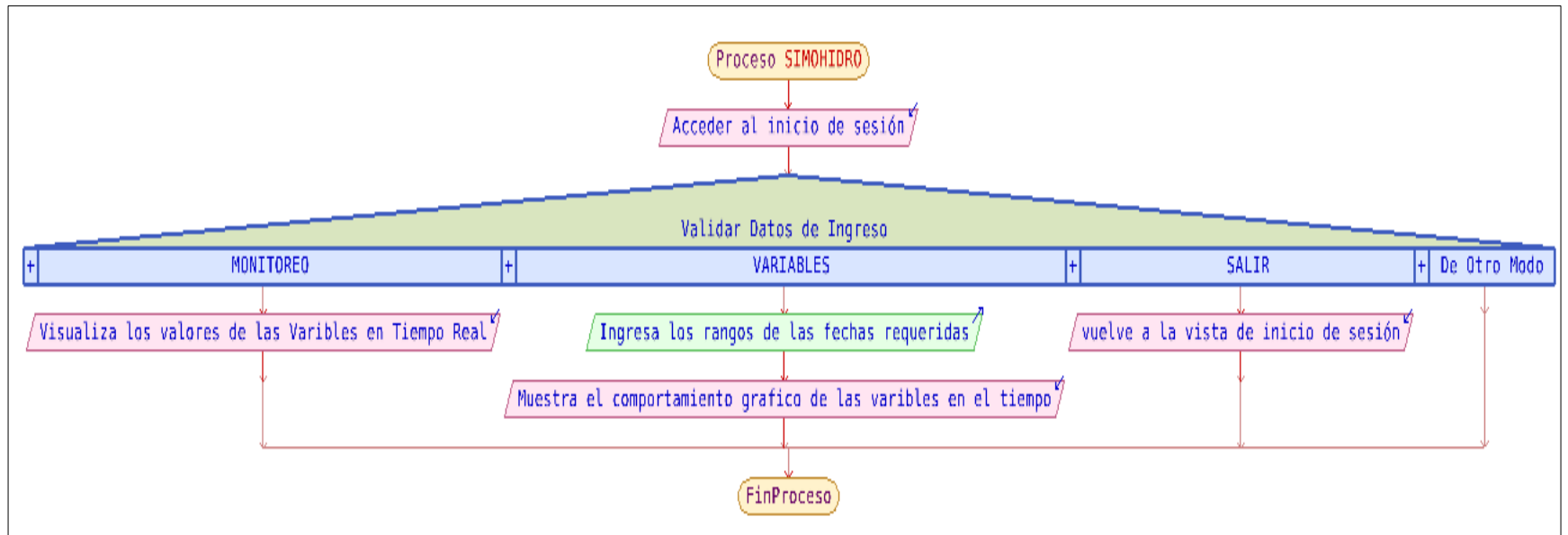
Para detallar el aplicativo web, se realizó un diagrama de flujos y con pseudocódigo, utilizando la herramienta Pseint, que sintetiza cuáles son las posibles opciones que tiene el cliente para solicitar la información deseada y qué hace cada una como lo muestra la Figura 30 y la Figura 31.

Figura 30. Código Pseint del funcionamiento de la página web.

```
1  Proceso SIMOHIDRO
2      Leer Acceder al inicio de Sesión
3      Segun Validar datos de ingreso Hacer
4          MONITOREO:
5              Leer Visualiza los valores de las variables en tiempo real
6          VARIABLES:
7              Escribir Ingresa los rangos de las fechas requeridas
8              Leer Muestra el comportamiento grafico de las variables en el tiempo
9          SALIR:
10             Leer vuelve a la vista de inicio de sesión
11      FinSegun
12  FinProceso
```

Fuente: Autores.

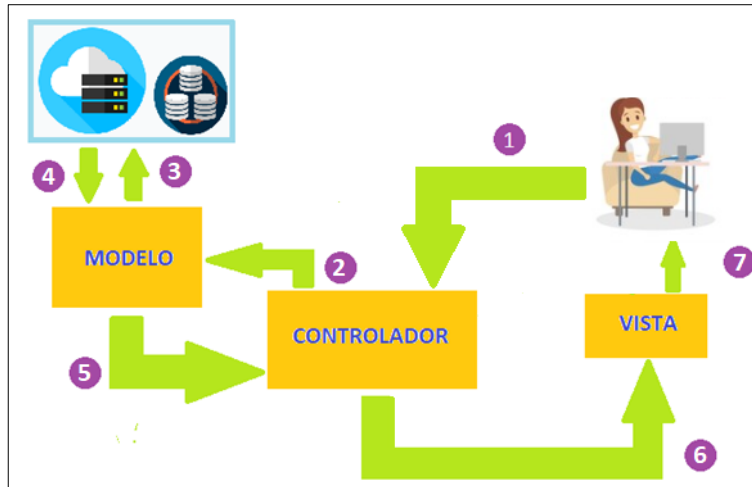
Figura 31 Diagrama de flujos, funcionamiento de la página web.



Fuente: Autores.

#### 4.1. MODELO VISTA CONTROLADOR

Figura 32. Diagrama del Modelo Vista Controlador



Fuente: Autores.

La Figura 32, muestra cómo el sistema está distribuido, siguiendo el modelo:

1. El usuario hace una petición al controlador a través de cualquiera de las 4 vistas que posee la aplicación web
2. El controlador gestiona o da una orden al modelo para acceder a la base de datos
3. El modelo recupera la información solicitada guardada en la base de datos gracias a su almacenamiento en la nube
4. La nube proporciona los datos solicitados al modelo
5. El modelo procesa y valida la información que se entrega al controlador
6. El controlador recibe la información y la envía a la vista
7. La vista por medio de la interfaz muestra al usuario la opción o información solicitada

Es preciso decir que este modelo es ejecutado una y otra vez por los frameworks CodeIgniter y Bonfire elegidos para facilitar el diseño de página web.

#### 4.2. MODELO CLIENTE/SERVIDOR

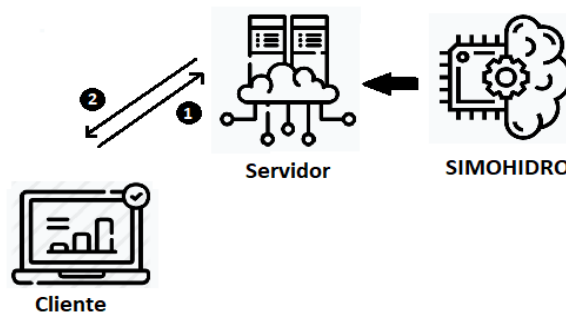
El modelo cliente-servidor según Manuel Santos, representa la forma en la que se producen las comunicaciones entre dos nodos de una red. En este modelo, uno de los nodos que forma parte de la comunicación tiene el rol de cliente, y otro tiene el rol de servidor.

Sin embargo, en la mayor parte de los casos, los elementos que hacen uso de este modelo son realmente aplicaciones/programas que se ejecutan dentro de los nodos. Por tanto, a continuación, se definirá las aplicaciones cliente y aplicaciones servidor.

Una aplicación cliente es el elemento de la comunicación que pide o solicita un servicio de red, por ejemplo, el acceso a una página web, o la descarga de un archivo, o el envío de un email.

Una aplicación servidor es el elemento de la comunicación que responde a las peticiones de los clientes, proporcionando el servicio requerido, es decir, enviando la página web o el archivo solicitado o el email<sup>46</sup>.

Figura 33. Diagrama del Modelo Cliente / Servidor



Fuente: Autores con iconos libres.

Este concepto aplicado a este diseño, como se puede ver en diagrama de la Figura 33, se observa que en 1 hay una petición por parte del cliente hacia el servidor y cuyo objeto da respuesta en 2 gracias a la información suministrada por SIMOHIDRO, encargado de enviar los datos al servidor.

Dicho en otras palabras, el Modelo cliente / servidor siempre va a estar presente en el diseño puesto que se dispone de una visualización a través de una aplicación web que requiere de una comunicación constante entre cliente y servidor.

#### 4.3. MONTAJE E INSTALACIÓN FINAL DEL SISTEMA

La instalación del Sistema de Monitoreo Hidropónico SIMOHIDRO, fue realizada en las instalaciones del TecnoParque Nodo Neiva, allí fue necesario adecuar previo a la instalación el suministro de la energía eléctrica para poder conectar el prototipo, el agua que se le suministra al tanque, la ubicación estratégica de éste para que no se viera afectado por el intenso sol, la ubicación de la estructura en PVC (policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil), se colocó una poli sombra para cubrir el área de la estructura y la ubicación del prototipo.

---

<sup>46</sup> SANTOS GONZALES, Manuel. El modelo cliente-servidor en las redes de datos. [En línea]. 2017. <http://redestelematicas.com/el-modelo-cliente-servidor-en-las-redes-de-datos>

A la hora de hacer el trasplante de las plántulas de lechuga, se debió escoger un horario donde la exposición al sol o altas temperaturas fuera mínima ya que, el porcentaje de supervivencia se disminuye porque estas plantas en especial son una clase de hortalizas muy frágiles.

La hora en la que se empezó a trasplantar dichas plántulas fue a las 5:30 pm donde el sol se oculta y la temperatura de la ciudad de Neiva empieza a descender. El proceso de trasplantación es muy dispendioso y se hizo con muy paciencia ya que como se necesitó una raíz de 5 cm de altura, las hojas en la bandeja germinadora de las lechugas se tendían a doblar y enredar mucho.

Este proceso se puede explicar mejor de la siguiente manera:

1. Se elige la plántula que se va a sacar de la bandeja
2. Se desenreda sus hojas que pueden estar junto con otras de otra plántula
3. Se saca todo el cubo de tierra en la que la raíz se encuentra presente, cuidando que no se parta ningún hilo de la raíz
4. Cada cubo se introduce en una vasija de agua para sacar toda la tierra, para así obtener la raíz limpia de cada plántula
5. En cada agujero de la estructura de PVC (policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil) se puso la plántula abrasada con una espuma recortada en cuadro ideal al tamaño del hoyo
6. Este mismo proceso se repitió con cada plántula trasplantada. Y se obtuvo toda la trasplantación de 150 plántulas de lechuga como se muestra en la Figura 34.

Figura 34. Cultivo de lechuga crespa luego de trasplantar



Fuente: Autores.

7. Para nutrir la planta fue necesario agregarle solución concentrada a y solución concentrada b alrededor de 800 ml de cada una para 200 litros de agua en el tanque como mínimo se reduce a la mitad de su capacidad y por ende la dosis también disminuye; su dosificación dependió del monitoreo continuo de las variables. Es recomendable cambiar cada 7 días toda la solución que contiene el tanque para las condiciones de Neiva y las características del cultivo.
8. Adicional a ello se instaló el sistema, se programó que la electrobomba se accionara cada 6 horas con una duración de 20 minutos encendida, el cual permitió la recirculación de los nutrientes y agua durante todo el proceso.

El sistema se protegió de los cambios climáticos y precipitaciones que den lugar a lluvias como se ve en la Figura 35 y la Figura 36.

Figura 35. Instalación del sistema SIMOHIDRO en etapas.



Fuente: Autores.

Figura 36. Instalación del sistema SIMOHIDRO.



Fuente: Autores.



## 5. RESULTADOS

En este capítulo hará un recuento de los datos obtenidos tanto físicos del cultivo, como digitales aportados desde SIMOHIDRO; por cada variable durante el proceso de crecimiento de las lechugas desde su primer día de trasplante.

### 5.1. DESARROLLO FENOLÓGICO DE LA LECHUGA

La fenología consiste en describir que sucede a través del tiempo desde el momento inicial cuando se tomó la semilla y se sometió a procesos fisiológicos para observar el crecimiento y desarrollo durante un ciclo de producción el cual se puede dividir en 3 etapas:

1. Imbibición: Se presenta cuando la semilla toma agua antes de germinar aumentando en un 40% su peso inicial, información suministrada por el ingeniero agrónomo Carlos Reina como se muestra en la Figura 37.

Figura 37. Proceso de imbibición.



Fuente: Autores.

Esta etapa duro solo 36 horas desde que se colocaron las semillas en servilletas húmedas como el medio por el cual éstas absorbían el agua.

2. Germinación: El embrión se activa y aparece la plántula Con Raíz, Tallo y Hojas como se muestra en la Figura 38.

Figura 38. Proceso de Germinación.



Fuente: Autores.

Cuando la semilla se activó brotando un destello de tallo en la anterior etapa, se puso a germinar en un abono llamado turba estéril que le aportó todos los nutrientes necesarios y dicha germinación la logró a los 2 días de ser sembrada.

3. Crecimiento vegetativo: En esta etapa la Plántula pasa a ser planta hasta que llega a ser adulta.

En esta etapa es donde se concentra la toma de datos monitoreados en el sistema y se observó que el cultivo durante sus primeros días se reciente por el cambio climático y manipulación de las plántulas donde se murieron un 13%; pero a los 5 días las lechugas empezaron a coger vida nuevamente y el porcentaje restante sobrevive hasta su crecimiento final como se muestra en la Figura 39.

Figura 39. Plantas con 5 días de trasplantación.



Fuente: Autores.

A los 30 días se recogió la primera cosecha de las plantas se desarrollaron más rápido gracias a su exposición al sol directa, es decir en su posición les permitían recibir el sol más tiempo durante el día como se muestra en la Figura 40.

Figura 40. Plantas con 30 días de trasplantación.



Fuente: Autores.

El resto de las plantas se recogieron a los 37 días de desarrollo, pues su pH aumentó un poco y las condiciones físicas permitieron inferir que si se dejaba más tiempo podrían pasarse de la cosecha como se muestra en la Figura 41.

Figura 41. Plantas con 37 días de trasplantación.



Fuente: Autores.

4. **CRECIMIENTO REPRODUCTIVO:** La planta llega a la floración y vuelve a producir semilla, pero para este estudio no se llegó a esta etapa pues apenas estuvo la cosecha se recogió todo el cultivo.

## 5.2. LOS RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LA COSECHA

Luego de hacer la recolección de la lechuga que se encontraban en su punto de maduración a los 30 días, se tomaron datos adicionales para medir su desarrollo físico tales como el peso, número de hojas y altura como se ven reflejado en la Tabla 12 y lo muestra las imágenes de en la Figura 42.

Tabla 12. Variables físicas de la lechuga cosechada 1

<b>LECHUGAS CON 30 DIAS DE CRECIMIENTO</b>			
<b>Valor</b>	Peso(g)	Numero de Hojas	Altura(cm)
<b>Máximo</b>	39	13	37
<b>Mínimo</b>	12	7	24
<b>Oscilación</b>	15 a 22	8 a 12	28 a 42

Fuente: Autores.

Figura 42. Cosecha con 30 días.



Fuente: Autores.

De igual manera se tomaron los datos aleatorios del resto de la cosecha que se recogió 7 días después como se puede ver en la Tabla 13 y lo muestra la imagen de en la

Figura 43.

Tabla 13. Variables físicas de la lechuga cosechada 2

<b>LECHUGAS CON 37 DIAS DE CRECIMIENTO</b>			
<b>Valor</b>	Peso(g)	Numero de Hojas	Altura(cm)
<b>Máximo</b>	27	15	36
<b>Mínimo</b>	5	12	22
<b>Oscilación</b>	12 a 22	7 a 12	20 a 32

Fuente: Autores.



Figura 43. Cosecha con 37 días

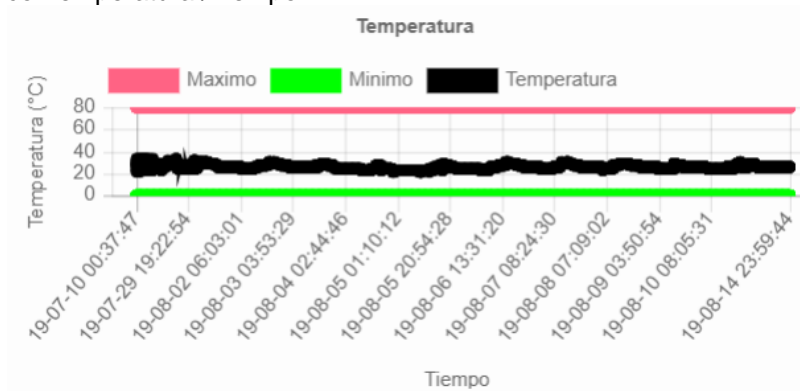


Fuente: Autores.

### 5.3. GRAFICAS DE LOS RESULTADOS TEMPORALES DE LAS VARIABLES

Las gráficas que se muestra a continuación se pueden obtener visitando la aplicación web, en la opción Variables se le ingresa como fecha inicial 9 de julio del 2019 y fecha final 15 de agosto del 2019; las cuales muestran el comportamiento de las variables en todo el desarrollo del cultivo como lo muestra Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47.

Figura 44. Gráfico Temperatura /Tiempo



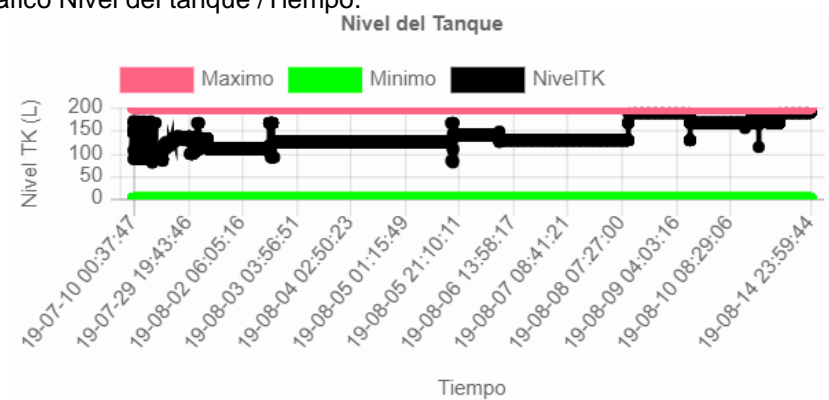
Fuente: Autores.

Figura 45. Gráfico pH /Tiempo



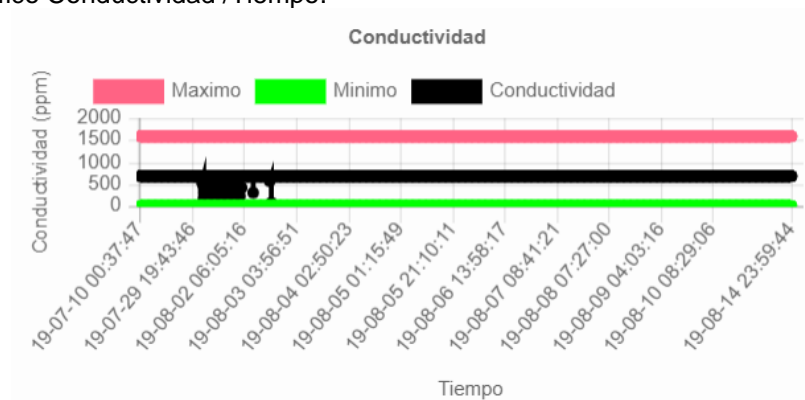
Fuente: Autores.

Figura 46. Gráfico Nivel del tanque /Tiempo.



Fuente: Autores.

Figura 47. Gráfico Conductividad /Tiempo.



Fuente: Autores.

Si se desea obtener una relación más detallada de cada dato almacenado en la nube, sólo basta con dar clic en la opción descargar y la página web descarga un documento Excel con el rango deseado por el usuario.

## COMPARATIVO ADICIONAL DE LA LECHUGA EN TIERRA

Como el proyecto fue diseñado junto con la ayuda de TecnoParque SENA, también se siguió el desarrollo de otro proyecto que ellos adelantaron con una comunidad de escasos recursos en el oriente de Neiva ubicada en el barrio Neiva ya. Su proyecto consistió en sembrar y cosechar lechuga en compostaje fabricado por ellos mismos con los residuos orgánicos que ellos mismos producían. Sus resultados son muy satisfactorios tanto en lo económico como a nivel del desarrollo de sus cosechas como se pueden ver la Figura 48 y Figura 49.

Figura 48. Cultivo de lechuga con compostaje vertical.



Fuente: Autores.

Figura 49. Cultivo de lechuga con compostaje horizontal.



Fuente: Autores.

En la observación de su proceso se obtuvo:

- En la primera semana un 20 por ciento de lechugas se murieron por el choque de temperatura, humedad o exposición al sol
- Después de una semana de trasplantación el color de las hojas de las lechugas se tornó más verde
- Se experimentó que algunas que se pasaron de cosechas su calor cambio de verde a amarilla y se puso de un sabor amargo

En relación de lo mencionado anteriormente se puede decir que:

El porcentaje de mortandad al momento de la trasplantación en las lechugas cultivadas en tierra o compostaje es mayor, puesto que en el cultivo hidropónico fue de un 13% mientras que en el de compostaje fue de un 20%.

Las lechugas cultivadas en tierras pueden durar hasta 45 días en su desarrollo mientras que las hidropónicas se obtuvieron en menos tiempo a los 37 días como máximo o última recogida.

En el cultivo hidropónico se ahorra espacio para cultivar, pues su estructura permite que se pueda trasplantar más plantas en menos área, un ejemplo real fue el propio, ya que se cultivaron plantas de lechugas grandes sobre la estructura de PVC (policloruro de vinilo, derivado del plástico más versátil) que ocupó solo un área de 12 m<sup>2</sup> diseñada para cultivar 360 plantas; en tierra para un área con las mismas dimensiones solo se es posible cultivar 105 plantas de acuerdo con los parámetros de espacio de plantación.

Las lechugas sembradas en tierra poseen más parásitos y por ello su comercialización es menor dejando menos ganancias para el cultivador, en cambio la lechuga hidropónica cada día tiene más demanda a un buen precio pues cultivada en hidroponía es tecnificada y es más limpia.



## 6. PRESUPUESTO

A continuación, se presenta la Tabla 14 con el presupuesto proyectado, teniendo en cuenta que se utilizaron plataformas de desarrollo gratuito para el diseño y la implementación del software requerido.

Tabla 14. Presupuesto del proyecto

TABLA DE PRESUPUESTO			
<i><b>Ítem</b></i>	<i><b>Equipos-Materiales</b></i>	<i><b>Cantidad</b></i>	<i><b>Precio Total</b></i>
1	Microcontrolador	1	20.000
2	Fuente de alimentación	1	20.000
3	Módulo GSM	1	40.000
4	Impresión de placa PCB	1	100.000
5	Sensor pH	1	150.000
6	Sensor Temperatura	1	8.000
7	Sensor conductividad	1	350.000
8	Sensor ultrasónico	1	8.000
9	Computador	1	600.000
10	Dispositivo móvil	1	150.000
11	Tubería para estructura (metálica, PVC, manguera, accesorios)	-	900.000
12	Bomba y temporizador	1	600.000
13	Tanque 200Lts	1	150.000
14	Semillas/Fertilizante	1	150.000
15	Dominio/hosting	1	50.000
16	Otros		200.000
<b>TOTAL</b>			<b>3.496.000</b>

Fuente: Autores.

## CONCLUSIONES

Crear dispositivos tecnológicos que favorecieran el desarrollo eficiente para el cultivo de hortalizas fue todo un reto, pues las condiciones climáticas y ambientales son cada vez más inciertas gracias a los malos manejos de residuos y mal aprovechamiento de los recursos naturales.

El desarrollo de este proyecto se hizo con el acompañamiento del TecnoParque SENA nodo Neiva, un lugar dispuesto para crear diseños que satisfagan las necesidades de los clientes con tecnología y asesoría, de la mano de los gestores de proyectos, pero ante todo siempre pensando en modelos de emprendimiento y generando proyección social con diferentes empresas patrocinadoras.

Se diseñó un sistema que se ajusta a las necesidades del usuario usando todas las herramientas necesarias y dispuestas para un desarrollo eficaz del cultivo de lechugas cressa variedad Simpson.

El sistema embebido que se eligió fue acorde a la creación del sistema, pues permite adquirir las señales de los sensores que brindan la información precisa en tiempo real del estado de los nutrientes del cultivo; y a su vez procesa en valores acordes a cada variable objeto. El microcontrolador dispuesto para adquirir y enviar las variables a través de un módulo GSM, permite disponer e incursionar en el internet de las cosas al facilitar los registros y almacenamientos precisos a la mano del usuario final.

Los frameworks fueron una herramienta muy útil para contribuir a un diseño web amigable con el usuario brindando privacidad sin necesidad de tener muchas destrezas para visualizar las variables en tiempo real; además permite al desarrollador muchas opciones de diseño de fácil acceso ahorrándole tiempo y construyendo una aplicación web que se acomode a su necesidad de una forma libre.

El monitoreo de las variables indispensables en el desarrollo fenológico de las lechugas es de gran importancia para obtener un cultivo rico en vitaminas y nutrientes que aporta el consumo de las mismas; pero más allá de eso es un logro muy importante pues se puede contrarrestar un poco la inestabilidad del clima cosechando cultivos en menos tiempo, con menos área disponible para su estructura aprovechando lugares inclusive de nuestras propias casas utilizando de una manera más eficiente los nutrientes que el cultivo requiere en tiempo real y sin estar las 24 horas disponible para esta tarea.

## BIBLIOGRAFÍA

AMAYA RINCÓN, Andrés; CRUZ VELÁSQUEZ, Leonardo. Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico. Bogotá DC ,2016. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad de ingeniería.

ARANDA, Diego. Electrónica: Técnicas digitales y microcontroladores. Buenos aires: Editorial Ciudad Autónoma: Fox Andina, 2014.

BARANOVIC, Lucas, et al. Informática en la Nube. Confidencialidad y Disponibilidad de los Datos. Santa Fe, 2011, 12-14p. Trabajo Integrador de Seminario de investigación. Licenciatura en Sistemas de Información.

BELTRANO, José; GIMENEZ, Daniel O. Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2015.

BLUEHACK. Comandos AT. 2005. [En línea] Disponible en: <http://bluehack.elhacker.net/proyectos/comandosat/comandosat.html>. Visitado el 26 de enero 2019.

BRITISH COLUMBIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. CodeIgniter at a Glance. [En línea]. 2014. Disponible en: [https://www.codeigniter.com/user\\_guide/overview/at\\_a\\_glance.html](https://www.codeigniter.com/user_guide/overview/at_a_glance.html)

BRITISH COLUMBIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. CodeIgniter at a Glance. [En línea]. 2014. Disponible en: [https://www.codeigniter.com/user\\_guide/overview/mvc.html](https://www.codeigniter.com/user_guide/overview/mvc.html).

CARRASCO SILVA, Gilda; Izquierdo, Juan. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Talca: Editorial Universidad de Talca, febrero de 1996.

CASTILLO, Enrique. Hombres y agricultura. IICA Biblioteca Venezuela, 1996.

CONDE PÉREZ, Elvith Eddy. Diseño de un prototipo para el control y automatización de un sistema hidropónico en un invernadero. La Paz, 2017, 46p. Tesis de Grado para optar el título de licenciatura en informática. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Informática.

CONDORI CABRERA, Jorge Luis. Diseño de un sistema de control y telemetría para grupos generadores hmoinsa. La Paz, 2016. 52p. Trabajo De Aplicación, Examen De Grado Nivel Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Tecnología. Carrera de electrónica y telecomunicaciones.

COOPER, Allen. The ABC of NFT. Nutrient film technique. Grower Books. Londres, 1979.

DEL HUILA, Gobernación. Anuario estadístico agropecuario. En Líneas. Disponible en <https://www.huila.gov.co/documentos/627/anuarios-estadisticos/> Consultado el 28 de enero del 2019.

DFROBOT. Analog EC Meter SKU: DFR0300. [En línea]. 2017. Disponible en: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Analog\\_EC\\_Meter\\_SKU:DFR0300?fbclid=IwAR1bKMelKSEWgXb7xt9YE9puxxPGPZLGpqfr\\_Dy2ynJCq93khn-QwAhkU1Q](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Analog_EC_Meter_SKU:DFR0300?fbclid=IwAR1bKMelKSEWgXb7xt9YE9puxxPGPZLGpqfr_Dy2ynJCq93khn-QwAhkU1Q)

DFROBOT. Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor (SKU: DFR0198). [En línea]. 2017. Disponible en: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Waterproof\\_DS18B20\\_Digital\\_Temperature\\_Sensor\\_\(SKU:DFR0198\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor_(SKU:DFR0198))

DOMÍNGUEZ, Alberto. Sistema de control de temperatura a través de Arduino y la tecnología GPRS GSM. EUIT Telecomunicaciones, Proyecto de Fin de Carrera. Madrid, España, 2013. E.U.I.T. Telecomunicación (UPM), ingeniería audiovisual y Comunicaciones.

DOUGLAS, James Sholto. Hidroponía: cómo cultivar sin tierra. 1997.

EZELL, Lonnie; JENKINS, Alan. Getting Started with Bonfire. [En línea]. 2018. Disponible en: [http://cibonfire.com/docs/developer/getting\\_started\\_with\\_bonfire](http://cibonfire.com/docs/developer/getting_started_with_bonfire)

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Funciones De Los Elementos En Las Plantas. Documentation [En línea]. 2019. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf).

FRIEDRICH, Guillermo Rodolfo; ARDENGHI, Jorge Raúl. Evaluación de las prestaciones de la red GPRS para aplicaciones de monitoreo remoto. En XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 2006.

GODOY, Ángel Ignacio. Hidroponía: cultivos sin tierra. Guatemala, Editor Litogres, 2001.

GUTIÉRREZ, Javier. ¿Qué es un framework web? [En línea]. 2013. Disponible en: [http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion\\_ficheros/Framework.pdf](http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion_ficheros/Framework.pdf)

HALSOUET, Pantxika; MIÑAMBRES, Marcelino Santiago. La lechuga: Manual para su cultivo en agricultura ecológica. Ekonekazaritza. Navarra, Edita Bio Lur Navarra, 2005.

INSTRUMENTS, National. Comunicación Serial: Conceptos Generales. [En línea] 2014. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>

IZQUIERDO, Juan. Hidroponía simplificada: cartilla de capacitación. Lima: Oficina Regional para América Latina y el Caribe OD-FAO, 2003. 3p.

JACQUES HERNÁNDEZ, Cuauhtemoc; Hernández, José Luis. Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). México: Revista: Naturaleza y desarrollo, 2005. 11- 16 p.

JARAMILLO NOREÑA, Jorge. Modelo Tecnológico para el Cultivo de Lechuga Bajo Buenas Prácticas Agrícolas en el Oriente Antioqueño. Medellín: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Gobernación de Antioquia, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016.

LADINO, Jhon Jairo, et al. Estudio de factibilidad del diseño y montaje de sistemas de cultivos hidropónicos de lechuga en conjunto residencial Okapi II en la ciudad de Bogotá. Bogotá DC ,2016. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad de ingeniería.

MARULANDA, Cesar; IZQUIERDO, Juan. Manual técnico: La huerta hidropónica popular. Chile, FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación,1997.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, INC. Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. [En línea]. 2015. Disponible en: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Microchip, D. S. PIC 18F4550. Enhanced Flash Microcontrollers, with. 2009.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Pickit 2. Programmer/Debugger User's Guide. [En línea]. 2008. Disponible en: [https://www.mouser.com/datasheet/2/268/microchip%20technology\\_51553e-1181081.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/268/microchip%20technology_51553e-1181081.pdf)

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Lechuga. [en línea] <http://www.agronet.gov.co/Documents/LECHUGA2016.pdf>. Visitado el 20 de enero 2019.

MONTALVÁN MENDOZA, Edwin Danny, et al. Manual e implementación de un servidor Hosting utilizando Linux para que residan Páginas Web. Latacunga, 2009, 16-17p. Proyecto de Graduación Previo a la Obtención del título de Tecnólogo en Computación. Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Tecnología en Computación.

MORA, Sergio. Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web. Editorial Club Universitario. Alicante: Editorial Club Universitario. 2002.

MORALES CHUQUIMARCA; Geovanny Alexis. Implementación de un telemando para mejorar la seguridad de un vehículo vía SMS. Quito, 2011, 14p. Proyecto previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería.

MORGAN, Elijah. HCSR04 Ultrasonic Sensor. [En línea]. 2014. Disponible en: [http://centmesh.csc.ncsu.edu/ff\\_drone\\_f14\\_finals/Sensor1/files/hcsr04.pdf](http://centmesh.csc.ncsu.edu/ff_drone_f14_finals/Sensor1/files/hcsr04.pdf)

NORMAS ISO. Determinación de la conductividad eléctrica. ISO 7888:1985. ISO/TC 147/SC 2 - Physical, chemical and biochemical methods. 1985.

ORTEGA ORTIZ, Jazmin Carolina. Desarrollo de un prototipo de adquisición de variables ambientales en cultivos hidropónicos de lechuga, mediante una red de sensores, utilizando un sistema embebido. Bogotá DC, 2014. (Doctoral dissertation, tesis de maestría, Facultad De Ingeniería, Universidad De San Buenaventura).

PAVÓN, Jacobo. Creación de un portal PHP y MySQL. México: Grupo Alfa Omega, 2008.

RODRÍGUEZ DELFÍN, et al. Manual práctico de hidroponía (No. 631.585 M294m). Lima: PE: Universidad Agraria La Molina, 2004.

ROJAS, Cristian Camilo; VALDERRAMA, Cristian Eduardo. Implementación de un sistema de monitoreo de variables fisicoquímicas para un cultivo acuapónico en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana. Neiva ,2015. Universidad Surcolombiana, Facultad de ingeniería.

RUBÉN, Andrés. ¿Qué es y para qué sirve el dominio de tu página web? [En línea]. 2014. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/internet/que-es-que-sirve-dominio-tu-pagina-web-2>. 2007.

SAAVEDRA, Gabriel. Manual de producción de lechuga. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. BOLETÍN INIA / No 09 ISSN 0717 – 4829. Santiago, Chile, 2017.

SANTOS GONZALES, Manuel. El modelo cliente-servidor en las redes de datos. [En línea]. 2017. <http://redestelematicas.com/el-modelo-cliente-servidor-en-las-redes-de-datos>

SILICON LABORATORIES. Single-chip USB to UART bridge. [En línea] 2004. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/cp2102.pdf>

XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO., LTD. Specifications of LCD module. [En línea]. 2008. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>.