

SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA EL MONITOREO Y REGISTRO DE LAS
VARIABLES AMBIENTALES DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
INGENIERÍA MECATRÓNICA. CICLO – III
PEREIRA

SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA EL MONITOREO Y REGISTRO DE LAS
VARIABLES AMBIENTALES DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO

PRESENTADO POR:

LUISA MARÍA ACEVEDO QUINTERO
MIGUEL ANGEL GONZALEZ CASTRILLON

DIRIGIDO POR:

ING. CRISTHIAN DANIEL MOLINA M.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

INGENIERÍA MECATRÓNICA. CICLO – III

PEREIRA

DEDICATORIA

A Dios,

Por darme la fortaleza, la humildad y la determinación de alcanzar todas mis metas, además por permitirme culminar un proceso más de mi vida.

A mis padres,

De quienes he recibido constantemente el apoyo necesario para nunca decaer durante mi proceso de crecimiento personal, espiritual y académico.

A mi compañero,

Por ser un apoyo en este proceso y ayudarme a cumplir una meta más en la vida, gracias a sus aportes y conocimientos.

A nuestro director de proyectos y apoyos,

De quienes aprendimos mucho en este proceso y gracias a su apoyo, conocimiento y amistad nos orientaron hasta lograr alcanzar nuestra meta.

Luisa María Acevedo Quintero

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme trabajar en el proyecto.

A mis padres y hermanas, por brindarme el apoyo y ayuda para completar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

Al director del proyecto Cristian Daniel y nuestro asesor Andrés Felipe por creer en nuestra idea y apoyarnos.

A mi compañera.

A todos los compañeros que nos apoyaron a través de la carrera.

MIGUEL ANGEL GONZALEZ CASTRILLON

RESUMEN

En Colombia el mal uso de las tierras para la plantación de diversos cultivos ha provocado el aumento de suelos erosionados, impidiendo la correcta producción de diversas frutas y vegetales, además de no permitir la producción de diversos productos agrícolas que sirvan para la exportación y mismo consumo del país, este factor se encuentra en aumento dado a la falta de nutrientes y minerales necesarios para cumplir con los consumidos por cada planta sembrada en estos terrenos.

Por ende se busca la implementación nuevos métodos que permitan solucionar esta problemática. Los cultivos hidropónicos son cultivos que no se siembran en la tierra como es lo habitual, la siembra se realiza en agua, a la cual se le añaden los nutrientes necesarios para el cultivo... sin embargo requiere de constante vigilancia e intervención para que funcione.

El proyecto propone como posible solución el diseño de un sistema de monitoreo y registro de las variables ambientales de un cultivo hidropónico, permita hacer la revisión del estado del cultivo por un medio web, además de poder obtener análisis de los datos para una correcta supervisión. El proyecto contara con varios desarrollos relacionados entre sí:

Primero: Analizar las variables a ser medidas y realizar el diseño de un sistema de instrumentación y medida de cada variable.

Segundo: Realizar el diseño de un sistema de comunicaciones entre el sistema de instrumentación y el sistema de registro.

Tercero: Realizar el diseño de una interfaz web que permita la visualización y manejo de los datos adquiridos.

Cuarto: Validar estadísticamente los datos adquiridos.

Quinto: Realizar el diseño del prototipo de cultivo a ser censado.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
CAPITULO 1. DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA	12
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.1.3. SISTEMATIZACIÓN.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. MARCO HISTÓRICO.....	15
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	18
2.1. CONCEPTOS PRINCIPALES	18
2.1.1. AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	18
2.1.2. CULTIVOS HIDROPÓNICOS	18
2.1.3. SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	18
2.1.4. EL pH	19
2.1.5. TEMPERATURA	19
2.1.6. HUMEDAD	19
2.1.7. NIVEL.....	20
2.1.8. TELEMETRÍA.....	20
2.1.9. REDES DE SENSORES	20
2.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	20
2.2.1. HARDWARE	21
2.2.1.1. ARDUINO MEGA 2560	21
2.2.1.2. SENSORES	22
2.2.1.2.1. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11.....	22

2.2.1.2.2. SENSOR DE PH0 - 14	23
2.2.1.2.3. SENSOR ULTRASONIDO HC – SR04	25
2.2.1.3. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS (COMPLEMENTOS)	27
2.2.1.3.1 VÁLVULA SOLENOIDE	27
2.2.1.3.2 RELÉ 120 V AC A 12 V DC	28
2.2.1.3.3 FILTRO DE AGUA.....	29
2.2.1.3.4 BOMBA DE AGUA	29
2.2.2. SOFTWARE	30
2.2.2.1. PHP	30
2.2.2.2. MYSQL.....	31
2.2.2.3. NETBEANS IDE 8.1	32
2.2.2.4. XAMPP CONTROL PANEL.....	34
2.2.2.5. ARDUINO.....	35
2.2.2.6. APACHE.....	36
2.2.2.7. HTML.....	36
2.2.2.8. CCS.....	37
CAPITULO 3. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS, CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	39
3.1. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS.....	39
3.1.1. DEPENDIENTES.....	39
3.1.2. INDEPENDIENTES	39
3.2. CRITERIOS DE VALIDEZ	39
3.2.1. INTERNOS.....	39
3.2.2. EXTERNOS.....	39
3.3. CONFIABILIDAD	40
CAPITULO 4. CULTIVO HIDROPONICO	41
4.1. CONSTRUCCIÓN	41
4.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE CULTIVO	43
4.2.1 TIPOS DE LECHUGA	46

4.3. SUSTRATO	49
4.3.1 TIPOS DE SUSTRATOS	49
4.4. PROCESO DE CRECIMIENTO	53
4.5 TIPO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	55
CAPITULO 5. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE	57
5.1. IMPLEMENTACIÓN	57
5.2 DESARROLLO DE SOFTWARE	65
CAPITULO 6. ANALISIS Y RESULTADOS	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arduino Mega 2560 y sus partes	21
Figura 2. Sensor de temperatura y humedad DHT 11	22
Figura 3. Conexión sensor de temperatura con Arduino	23
Figura 4. Sensor de PH0-14	24
Figura 5. Conexión con Arduino (29)	25
Figura 6. Sensor de ultrasonido HC - SR04	26
Figura 7. Válvula solenoide 2W-025-08 1/4"	27
Figura 8. Símbolo del relé de dos circuitos	28
Figura 9. Relé 11 pines	28
Figura 10. Filtro de agua de material poroso	29
Figura 11. Bomba de paletas	30
Figura 12. Muestra de programación en PHP	31
Figura 13. Comando de control MySQL	32
Figura 14. Interfaz de programación	33
Figura 15. Panel de control conexión a LocalHost	34
Figura 16. Entorno de programación para Arduino	35
Figura 17. Logo de Apache	36
Figura 18. Estructura de programación de HTML	37
Figura 19. Modelo de Invernadero	41
Figura 20. Conducto de entrada de agua y nutrientes	42
Figura 21. Desagüe	43

Figura 22. Tipos de plantas aptas para cultivos hidropónicos	44
Figura 23. Lechuga escarola	47
Figura 24. Lechuga milanesa	48
Figura 25. Lechuga romana	49
Figura 26. Sustratos cascarilla de arroz, corteza de árbol y piedra pómez (piedra volcánica)	51
Figura 27. Sustrato de coco	52
Figura 28. Semana uno, proceso de germinación	53
Figura 29. Semana 5	54
Figura 30. Semana 7	54
Figura 31. Semana 10	55
Figura 32. Semana 13	55
Figura 33. Evidencia 1 enfermedad por falta de calcio	56
Figura 34. Evidencia 2, espigado	56
Figura 35. Medición del nivel del agua	57
Figura 36. Programación del sensor de nivel. Parte 1	58
Figura 37. Programación del sensor de nivel. Parte 2	59
Figura 38. Resultados sensor de nivel.....	60
Figura 39. Medición de temperatura y humedad	61
Figura 40. Programación del sensor DHT 11	62
Figura 41. Temperatura y humedad del ambiente	62
Figura 42. Rangos de medida, temperatura y humedad	63
Figura 43. Programación sensor de pH. Parte 1	64
Figura 44. Programación sensor de pH. Parte 2.....	64
Figura 45. Código de colores y nomenclatura para resultados de PH	65
Figura 46. Programación HTML para Login.....	66
Figura 47. Creación de usuarios página web	67
Figura 48. Página de inicio	67
Figura 49. Página para usuario.....	68
Figura 50. HTML para creación de tabla usuarios. Parte 1	69
Figura 51. HTML para creación de usuarios. Parte 2	69
Figura 52. Base de datos MySQL usuarios	70
Figura 53. Formato CCS.....	71
Figura 54. Historial en MySQL	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la Lechuga.....	46
Tabla 2. Nivel de comparación tensión a medidas de PH.....	65
Tabla 3. Componentes utilizados.....	74
Tabla 4. Medidas de los sensores	75
Tabla 5. Medidas de tendencia central para los datos adquiridos	75
Tabla 6. Porcentaje de error estadístico	76

INTRODUCCIÓN

La búsqueda imparable de diversas alternativas para desarrollar cultivos más versátiles, con mayor producción y a bajo costo ha mantenido una constante inquietud por la innovación de nuevas tecnologías para lograr conseguir una agricultura tecnificada y así mejorar la economía de una localidad, región o país.

Bajo diversas inquietudes de cómo se podría plantear un proyecto donde reuniera la innovación en un porcentaje elevado para desafiar diversos criterios de conocimiento cultural, social y técnico, dio como resultado el diseño de esta alternativa, donde no solo demostró el desarrollo de grandes conocimientos hasta el momento adquiridos, sino que abrió las puertas y la mente a la trascendencia de nuevos campos de formación.

El proyecto se desarrolló como una idea a ser implementada en cada hogar de la localidad, garantizando que cada habitante pudiese consumir frutas y verduras orgánicas, lo cual garantizaría una mejora en la salud de los individuos. Además se orientó al monitoreo de un cultivo en donde se llevaría un registro diario de las variables esenciales para el crecimiento adecuado de las plantas.

De igual forma, se garantizó el cumplimiento de las expectativas iniciales, dando como resultado la aplicación de una idea, convertida en realidad.

CAPITULO 1. DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, el mal manejo de las tierras para cultivos han provocado la disminución en productos de la canasta familiar resultando un aumento en la demanda de productos agrícolas, ya que los cultivos tradicionales requieren terrenos de grandes extensiones, los cuales son propensos a variaciones climáticas, plagas y enfermedades que afectan su crecimiento generando un incremento en el uso de pesticidas, plaguicida y hormonas para acelerar el desarrollo de estos productos y así satisfacer la necesidad de la población en general.

Esta problemática ha ido afectando a cada vez más países, incluyendo a Colombia lo que ha generado procesos de investigación y aplicación de nuevos métodos para desarrollar cultivos sin el uso de productos contaminantes, ya que el uso frecuente de estas sustancias afectan los suelos y la salud del consumidor, disminuyendo lentamente la cantidad de nutrientes impidiendo la realización de próximos cultivos a causa de la erosión.

Gracias a las investigaciones realizadas en diversos campos relacionados con la agricultura, inicialmente nace la idea de implementar cultivos hidropónicos con sistemas de instrumentación y telemetría para el monitoreo y registro de las variables asociadas al cultivo. Estos cultivos requieren del constante monitoreo, debido a los procesos agroindustriales que estos deben tener, tales como un adecuado nivel de agua, un equilibrio del pH, una correcta cantidad de nutrientes y minerales, una humedad aceptable para evitar la descomposición y una temperatura estable entre el ambiente y el interior del cultivo para permitir el crecimiento adecuado.

Existen investigaciones en Colombia, enfocadas al diseño de cultivos hidropónicos, los cuales permiten educar a la población sobre su proceso e implementación. Estos cultivos, hasta el momento, cuentan con un sistemas de control, pero la gran mayoría, no monitorean en su totalidad las variables del cultivo. (1)

Dentro de las investigaciones encontradas se desarrolló una estrategia para implementar un cultivo hidropónico doméstico en cada hogar y así mejorar la alimentación, sin embargo se manejó de forma manual con características ya establecidas en diversas capacitaciones realizadas y con una observación e intervención constante del hombre. Además en algunos laboratorios se

desarrollaron prototipos de cultivos hidropónicos utilizando un sistema de control e instrumentación electrónico, que solo permite el control de nivel del agua de este tipo de cultivos.

Además de las investigaciones y desarrollos en Colombia, otros países realizan investigaciones enfocados a este tipo de cultivos, de esto se pueden encontrar propuestas como la presentada en la Universidad Católica Andrés Bello, escuela de ingeniería de telecomunicaciones de la ciudad de Caracas, sobre la implementación de un sistema de redes de sensores para un viñedo del sector vinícola en Venezuela sin embargo solo monitorean las variables ambientales del cultivo. Así mismo en la Universidad Nacional Autónoma de México, se desarrolló un sistema de control para la automatización de un invernadero con hidroponía que solo disminuye los costos de producción para algunos elementos que se utilizan en los procesos de implementación instrumental.

De los sistemas nombrados anteriormente, se evidencia la necesidad a realizar un sistema que permita la monitorización y registro de las variables ambientales y así realizar estudios o análisis de los datos, por lo tanto se propone para el desarrollo del proyecto el diseño de un sistema de monitoreo y registro para un cultivo hidropónico, el cual estará conectado a una red de Ethernet para que el propietario pueda acceder a una cuenta para supervisar el estado del cultivo en tiempo real, así como registros anteriores para observar y estudiar su comportamiento.

De igual forma, garantizar la puesta en marcha de un sistema rentable y de aplicación doméstica, además de brindar la facilidad de información necesaria para la utilización correcta e implementación en cualquier cultivo necesario para llevar una alimentación sana y una economía sostenible para las familias risaraldenses.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué características debe tener un sistema para permitir el monitoreo y registro de variables ambientales en un cultivo hidropónico?

1.1.3. SISTEMATIZACIÓN

¿Qué variables ambientales se van a censar?

¿Cómo los sistemas DAQ nos pueden ayudar para el diseño de una base de datos SQL?

¿Cómo se podría implementar estos sistemas de forma doméstica?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia el mal uso de las tierras para la plantación de diversos cultivos ha provocado el aumento de suelos erosionados, impidiendo la correcta producción de diversas frutas y vegetales, además de no permitir la producción de diversos productos agrícolas que sirvan para la exportación y mismo consumo del país, este factor se encuentra en aumento dado a la falta de nutrientes y minerales necesarios para cumplir con lo consumido por cada planta sembrada en estos terrenos.

Dado a los diversos recursos tecnológicos utilizados para encontrar la forma de mantener la economía sustentable y sostenible para no decaer en la economía global, han fomentado la postulación de proyectos, donde no solo el uso de maquinaria a sido lo fundamental para establecer los procesos agrícolas, sino la propuesta de agricultura de precisión que conducirá a nuevos campos de desarrollo donde lo esencial es encontrar el equilibrio entre la tecnología y la agricultura.

Con la proliferación actual de tecnología y los avances en agricultura de precisión, se ha logrado minimizar la problemática anteriormente nombrada. Existen enfoques de sembrado que proponen que los cultivos no sean procesados y tratados necesariamente en tierra, por ende se comienza a trabajar con método de cultivo antiguo, donde la siembra se realiza en agua, permitiendo añadir los nutrientes que las plantas necesitan para desarrollarse adecuadamente, a este método se le conoce como cultivo hidropónico. Este proceso permite una mayor eficiencia en cuanto al crecimiento, cantidad, y periodicidad con que se pueda producir los vegetales o cualquier otra planta con capacidad adaptativa a este tipo de cultivos. Pero en su momento, este es un proceso totalmente manual y requiere de la intervención humana por grandes periodos de tiempo para mantener en óptimas condiciones el cultivo. Con el fin facilitar los cuidados se inició un proceso a nivel mundial para implementar desarrollos que lo permitan.

Actualmente existen desarrollos enfocados en el monitoreo y registro de cultivo en diferentes universidades del mundo. Dentro de ellos se encuentra la propuesta de la Universidad Católica Andrés Bello, escuela de ingeniería de telecomunicaciones, de implementar un sistema de redes de sensores para un viñedo de una importante empresa del sector vinícola en Venezuela, sin embargo solo se monitorean las variables importantes del cultivo, de igual manera en la Universidad Mariana, se implementó un prototipo de un cultivo hidropónico utilizando un sistema de control e instrumentación electrónico, que permite el control de nivel del agua y tiene como objetivo exponer a la comunidad el funcionamiento de este tipo de cultivos, sin embargo a este desarrollo le falta un registro con el que se puedan hacer análisis a los datos.

Evidenciando los problemas y/o necesidades anteriores, existe una gran oportunidad de aplicar distintos avances tecnológicos al campo de la agricultura, por lo tanto se propone como posible solución el desarrollo de un prototipo para un sistema de cultivo hidropónico para la producción de vegetales como la lechuga, con el fin de crear un sistema para que pueda mantener el cultivo bajo monitoreo utilizando telemetría y en donde constantemente por medio de un registro permitirá realizar la comparación de datos con el fin de brindar facilidades de información en tiempo real del cultivo hidropónico. El proyecto propuesto se implementa en el municipio de Pereira, Risaralda, principalmente ubicado y elaborado en la Universidad Tecnológica de Pereira.

El sistema de cultivo hidropónico, mejora en gran medida la calidad de producción en cuanto a crecimiento, calidad de vegetales y producción se trate, facilitando el trabajo, ahorrando tiempo y beneficiando el cultivo, y como se encuentra en constante funcionamiento las plantas no se encontraran afectadas por falta de agua.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de telemetría que permita el monitoreo y registro de las variables ambientales de un cultivo hidropónico tales como nivel de agua, humedad, pH y temperatura.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseño de un sistema de instrumentación y medida de cada variable.
- Diseño del sistema de comunicaciones electrónicas entre el sistema instrumentación y el sistema de registro.
- Diseñar una interfaz web que permita el registro y visualización de los datos adquiridos.
- Validar estadísticamente las medidas adquiridas.
- Diseñar el prototipo del cultivo a ser censado.

1.4. MARCO HISTÓRICO

Los comienzos del cultivo hidropónico se remontan al siglo XVIII, hacia el año 1650. Se origina con la necesidad de producir alimentos por parte de poblaciones que

habitaban en regiones sin tierras fértiles para cultivar, pero que contaban con fuentes de agua suficientes.

De tal manera que la hidroponía es muy antigua. Hubo civilizaciones enteras que la usaron como medio de subsistencia, y existen datos históricos que sustentan la afirmación de que los cultivos hidropónicos se conocían en diversas localizaciones geográficas.

Uno de los primeros éxitos de la hidroponía ocurrió durante la segunda guerra mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban en el Pacífico, pusieron en práctica métodos hidropónicos en gran escala para proveer de verduras frescas a las tropas en guerra con Japón en islas donde no había suelo disponible. La hidroponía fue usada para producir vegetales para los soldados. Era preciso utilizar esta técnica pues en las islas no había suelo en el que plantar, y era extremadamente caro transportarlos. La observación de esto determinó que las plantas crecían peor en agua destilada que en fuentes de agua no tan purificadas.

Los primeros en perfeccionar las soluciones nutrientes minerales para el cultivo sin suelo fueron los botánicos alemanes Julius von Sachs y Wilhelm Knop en la década de los 1860. El crecimiento de plantas terrestres sin suelo en soluciones minerales se convirtió rápidamente en una técnica estándar de la investigación y de la enseñanza y sigue siendo ampliamente utilizada hoy. (11)

Esta técnica ahora se considera un tipo de hidroponía donde no hay medio inerte. Todo indica que el método de cultivo hidropónico se seguirá desarrollando en todo el mundo. Por eso se puede observar que en diversas partes del mundo se implementa no solo para cubrir la necesidad alimentaria, sino para investigar las mejoras que se pueden realizar, por lo tanto se nombraron algunas investigaciones, prototipos y desarrollos a nivel mundial de estos cultivos.

Para el 2003, en el barrio italiano en el municipio de Armenia, Quindío se desarrolló una estrategia para implementar un cultivo hidropónico doméstico para ser implementado en cada hogar y así mejorar la alimentación, además de aumentar el consumo de esa región. Esta implementación se manejó de forma manual con características ya establecidas en diversas capacitaciones realizadas y con una observación e intervención constante del hombre.

Para el 2008, en la Universidad de la Salle, Bogotá se llevó a cabo de un prototipo de sistema de supervisión de la fertirrigación de claveles en cultivos hidropónicos, para el cual se utilizaron 2 microcontroladores para realizar el control del sistema de riego y mezcla de nutrientes del invernadero y la aplicación de protocolos de comunicación para enlazar los dispositivos, diseñando consigo un programa llamado HIDROPONIK V. 1.0 desarrollado en LabVIEW 8.2.1. Para mantener la

comunicación constante con cada componente o sección que comprende el prototipo.

Para el 2012, en la Universidad Católica Andrés Bello, escuela de ingeniería de telecomunicaciones de la ciudad de Caracas, Venezuela se presentó la propuesta de la implementación de un sistema de redes de sensores para un viñedo de una importante empresa del sector vinícola en Venezuela. El cual consiste en aplicar una red de sensores para monitorizar las variables importantes para este cultivo como lo son la dirección del viento, humedad total, humedad relativa del suelo, pluviometría, radiación del sol y temperatura. Para el 2012, en la Universidad Nacional Autónoma de México, se desarrolló un sistema de control difuso para la automatización de un invernadero con hidroponía para disminuir los costos de producción de algunos elementos que se utilizan en los procesos de implementación instrumental y ser implementados de baja a media capacidad de sembrado.

Para el 2013, en el Laboratorio de Electrónica, ubicado en Campus Monte Alvernia de la Universidad Mariana en el departamento de Nariño, se implementó un prototipo de un cultivo hidropónico utilizando un sistema de control e instrumentación electrónico, que permite el control de nivel del agua y tiene como objetivo exponer a la comunidad el funcionamiento de este tipo de cultivos. En este cultivo se utilizó forraje verde. Para el 2013, en la Universidad Autónoma de Occidente se presentó la propuesta de implementar una red de sensores en el jardín botánico de Cali con el fin de monitorizar y controlar las variables de cultivos de gran extensión, este control se llevará a cabo a través de la web.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1. CONCEPTOS PRINCIPALES

2.1.1. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La “Agricultura de Precisión” (AP) no es ni más ni menos que la consecuencia de la irrupción de las TIC en la agricultura, es decir, la manifestación de la era digital en la Producción Agraria. Nuevamente los agricultores han de familiarizarse con las herramientas de la época: teclados, pantallas, selección en opciones de menú..., así como conocer las tecnologías que se pone a su disposición para conseguir una producción agraria con la que alimentar a una población mundial de siete mil millones de personas y en crecimiento, con las restricciones que la seguridad en la sanidad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y las leyes de la economía de mercado imponen. (12)

2.1.2. CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Son un conjunto de técnicas que sustituye al suelo también es denominada agricultura sin suelo. La hidroponía te permite diseñar estructuras simples y/o complejas favoreciendo las condiciones ambientales idóneas para producir cualquier planta de tipo herbáceo aprovechando en su totalidad cualquier área (azoteas, jardines, suelos fértiles, terrenos escabrosos, etc...) sin importar las dimensiones como el estado físico de estas. (13)

2.1.3. SOLUCIÓN NUTRITIVA

Una manera acertada para definir a una solución nutritiva, es como, una disolución de sales y de ácidos que tratan de imitar a los nutrientes que se encuentran en el suelo y que, por lo tanto, debe de contener la totalidad de los nutrientes que logra capturar el suelo.

En los cultivos hidropónicos y en los cultivos nutridos bajo fertirriegos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas, disolviendo las sales fertilizantes en agua, es por eso que se debe tener un estricto control con la concentración de sales, con su balance, y con el valor del pH para que las raíces puedan capturar todos los nutrientes que nosotros le proporcionamos. (14)

2.1.4. EL pH

Ácida y básica son los dos extremos que describen las sustancias químicas, tal y como caliente y frío son los dos extremos que describen la temperatura. La mezcla de ácidos y bases puede cancelar sus respectivos efectos extremos, de la misma forma que al mezclar agua caliente con agua fría se equilibra la temperatura del agua. Una sustancia que no es ni ácida ni básica es neutra. La escala del pH mide qué tan ácida o básica es una sustancia. Varía de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro. Si el pH es inferior a 7 es ácido y si es superior a 7 es básico. Cada valor entero de pH por debajo de 7 es diez veces más ácido que el valor siguiente más alto. Por ejemplo, un pH de 4 es diez veces más ácido que un pH de 5 y 100 veces (10 veces 10) más ácido que un pH de 6. Lo mismo sucede con los valores de pH por encima de 7, cada uno de los cuales es diez veces más alcalino (otra manera de decir básico) que el siguiente valor entero más bajo. Por ejemplo, un pH de 10, es diez veces más alcalino que un pH de 9. (15)

2.1.5. TEMPERATURA

Temperatura es una propiedad física, inherente y medible de cualquier cuerpo, objeto o materia que nos rodea. En el campo de la física la temperatura está directamente relacionada con la cantidad de movimiento de las partículas / átomos que componen el cuerpo, objeto o materia, de tal forma que a mayor cantidad de movimiento mayor temperatura y a menor cantidad de movimiento menor temperatura tendrá dicho cuerpo. (16)

2.1.6. HUMEDAD

La humedad ambiental se refiere la presencia de vapor de agua en el aire. Aunque casi siempre se piensa en la atmósfera simplemente como una masa de aire, lo cierto es que el vapor de agua juega un papel muy importante en su composición, incluso en las zonas áridas. Por otro lado, es común que cuando se habla del confort humano lo primero que venga a la mente es la temperatura del aire. Aunque este parámetro es importante, la humedad ambiental también influye de manera determinante.

El nivel de humedad en un sitio depende de diversos factores, entre los que se encuentran la composición de las masas de aire que llegan a él por medio del viento, la disponibilidad de cuerpos de agua y masas vegetales, el régimen de precipitaciones, las tasas de evaporación y las temperaturas promedio del aire. Existen diversos parámetros empleados para medir la humedad ambiental, entre los

que se encuentran la humedad absoluta, la humedad relativa y la presión de vapor. (17)

2.1.7. NIVEL

En su sentido más general, nivel hace referencia a una “altura” relativa a otra altura; generalmente se toma como punto de referencia una base. Cuando la altura es geográfica, se denomina altitud y se toma como base de referencia el nivel del mar.

2.1.8. TELEMETRÍA

Telemetría es una técnica automatizada de las comunicaciones con la ayuda de que las mediciones y recopilación de datos se realizan en lugares remotos y de transmisión para la vigilancia. Esta técnica utiliza comúnmente transmisión inalámbrica, aunque original de los sistemas de transmisión utilizados por cable. Los usos más importantes de telemetría incluir el clima de recopilación de datos, supervisión de plantas de generación de energía y hacer el seguimiento de tripulados y no tripulados vuelos espaciales. (10)

2.1.9. REDES DE SENSORES

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica que consiste en dispositivos distribuidos espaciados autónomos utilizando sensores para monitorear condiciones físicas o ambientales. Un sistema WSN incorpora un Gateway que provee conectividad inalámbrica de regreso al mundo de cables y nodos distribuidos. El protocolo inalámbrico que seleccione depende en los requerimientos de la aplicación. Algunos de los estándares disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 (Wi-Fi) o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 MHz. (9)

2.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.2.1. HARDWARE

2.2.1.1. ARDUINO MEGA 2560

Es una placa electrónica basada en el Atmega2560, cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (hardware puertos serie), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio.

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serie, sin embargo posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras, cuando se trabaja con una fuente externa de poder se debe utilizar un convertidor AC/DC y regular dicho voltaje en el rango operativo de la placa. De igual manera se puede alimentar el micro mediante el uso de baterías. Preferiblemente el voltaje debe estar en el rango de los 7V hasta los 12V.

El Mega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila. Sin embargo difiere de todas las placas anteriores de Arduino, dado que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI, sin embargo Arduino puede ser programado de una manera muy fácil utilizando el lenguaje propio de Arduino junto con la interfaz Arduino IDE.

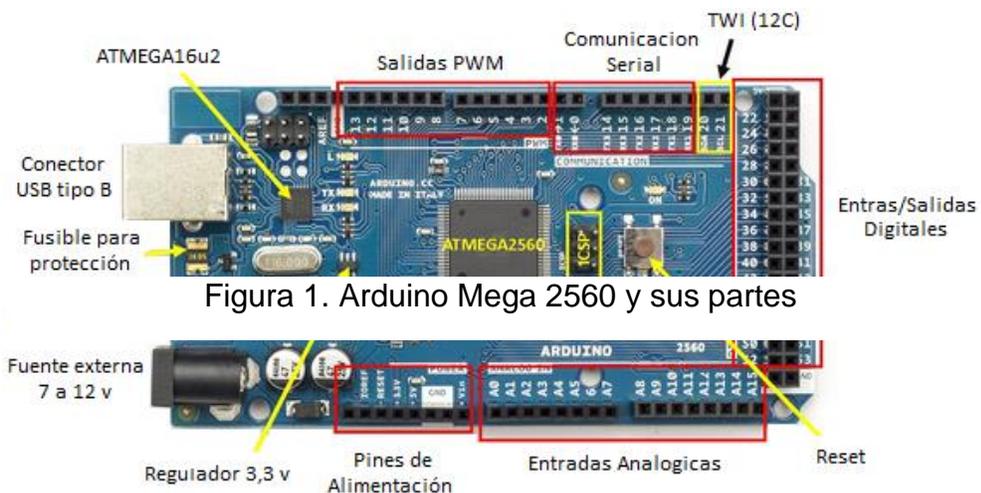


Figura 1. Arduino Mega 2560 y sus partes

Arduino Mega posee las siguientes especificaciones:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Voltaje de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz

2.2.1.2. SENSORES

2.2.1.2.1. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11

Es un sensor de temperatura y humedad el cual dispone de una salida digital calibrada. Su tecnología garantiza la alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo. Es compatible con la tecnología Arduino, PIC, AVR, COP, DSP, STM32, entre otros. (18)

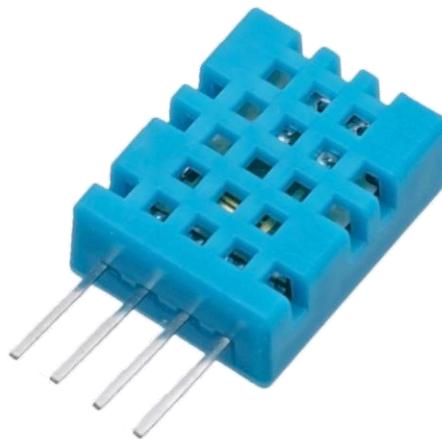


Figura 2. Sensor de temperatura y humedad DHT 11

El DHT 11 posee las siguientes características:

- Compatible con sistemas electrónicos operando entre 3v-5v
- Corriente máxima de 2.5 mA cuando se realiza la conversión.
- Humedad relativa: 0-80% ($\pm 5\%$)
- Temperatura: 0-50°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
- Tiempo de respuesta: ≈ 10 segundos
- 4 pines de conexión
- No requiere componentes activos externos.

Conexión con Arduino:

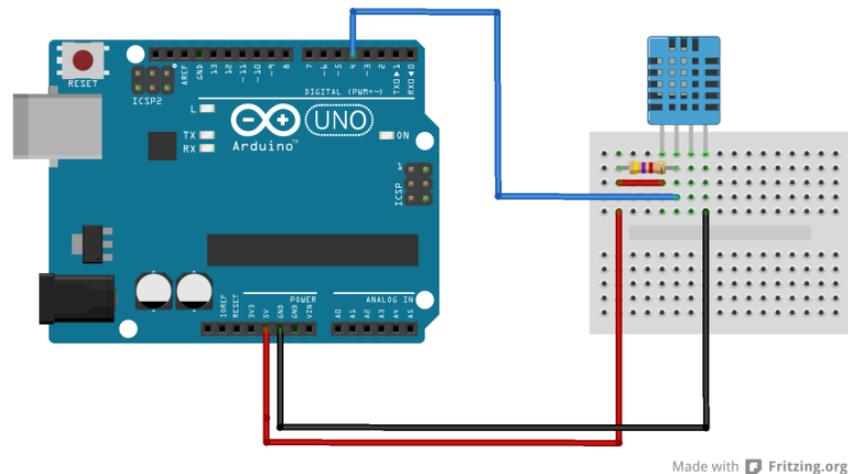


Figura 3. Conexión sensor de temperatura con Arduino

2.2.1.2.2. SENSOR DE PH0 - 14

Los medidores de pH más comunes incorporan un sensor de vidrio y un tubo de referencia. La sonda de pH mide la actividad de los iones de hidrógeno mediante la generación de una pequeña cantidad de tensión en el sensor y el tubo de referencia. El medidor de voltaje convierte a un valor de pH y la muestra en la pantalla digital, permitiendo así la cómoda medición de cualquier líquido o suelo.

Debido a las variaciones presentes en el ambiente al momento de exponer el medidor de pH se debe calibrar adecuadamente con la comparación de un punto de referencia de laboratorio con certificación estándar, conocido más comúnmente como una "solución calibradora." Las soluciones calibradoras son líquidas, pero también se pueden comprar en forma de polvo y mezclar con agua destilada o desionizada.

Al igual que cualquier instrumento científico se debe calibrar lo más cerca posible al nivel que se pondrá a prueba. Si la prueba es de un rango, el medidor debe ser calibrado en el medio de ese rango. Por ejemplo, si la prueba es de una solución ácida, un medidor de pH se debe calibrar a pH 4,0 para alcanzar los resultados más precisos. La mayoría de las aguas caen en el rango de pH 6,0 a pH 8,0. Por lo tanto, para probar el pH del agua, la calibración del medidor de pH 7,0 es suficiente. Los tres niveles de pH más comunes para la calibración son 4.01, 7.01 y 10.01. Estos puntos cubren el rango de pH de 0 a 14, pero los valores están disponibles. (19)



Figura 4. Sensor de PH0-14

El sensor de pH0 - 14 posee las siguientes características:

- Tensión de alimentación: $5 \pm 0,2$ V (AC · DC)
- Corriente de trabajo: 5-10mA
- Intervalo de concentraciones detectables: PH0-14
- Rango de detección de temperatura: 0-80 °C
- Tiempo de respuesta: ≤ 5 S

- Tiempo de establecimiento: $\leq 60S$
- Potencia: $\leq 0.5W$
- Temperatura de trabajo: $-10 \sim 50 \text{ }^{\circ}C$ (temperatura nominal de $20 \text{ }^{\circ}C$)
- Humedad: 95% RH (humedad nominal 65% RH)
- Tamaño del módulo: $42 \text{ mm} \times 32 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$
- Salida: salida de la señal analógica de tensión con 4 pines.

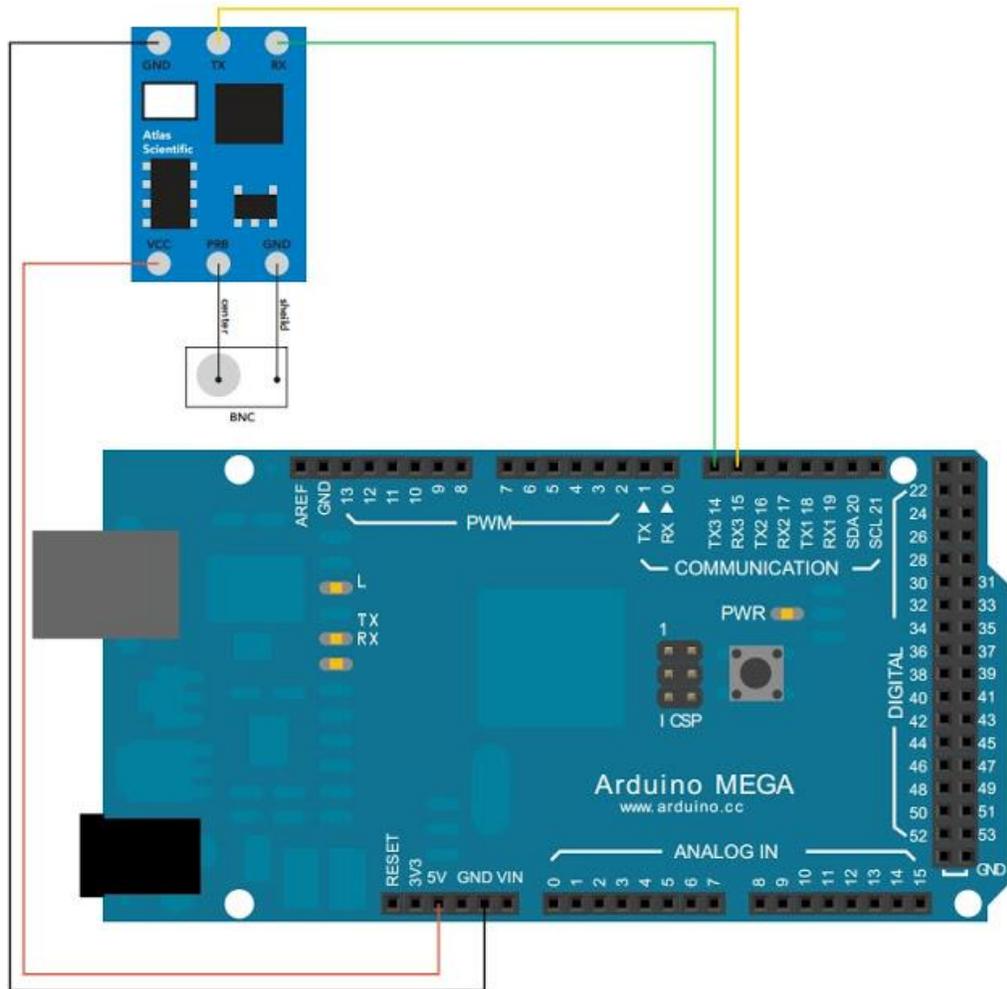


Figura 5. Conexión con Arduino (29)

2.2.1.2.3. SENSOR ULTRASONIDO HC – SR04

Es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio por lo que está reemplazando a los sensores polaroid en los robots más recientes. (20)



Figura 6. Sensor de ultrasonido HC - SR04

El HC – SR04 posee las siguientes características:

- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- Rango máximo: 4.5 m
- Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μ S.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μ S.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS.
- Pines de conexión:
 - ✓ VCC
 - ✓ Trig (Disparo del ultrasonido)
 - ✓ Echo (Recepción del ultrasonido)
 - ✓ GND

- Distancia = {(Tiempo entre Trig y el Echo) * (V.Sonido 340 m/s)}/2

2.2.1.3. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS (COMPLEMENTOS)

2.2.1.3.1 VÁLVULA SOLENOIDE

Una válvula solenoide es una válvula eléctrica utilizada para controlar el paso de gas (sistemas neumáticos) o fluidos (sistemas hidráulicos). La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un solenode (un electroimán) que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva. Este tipo de válvulas se suelen utilizar en sitios de difícil acceso, en sistemas multi-válvula y en sitios de ambiente peligroso. Las válvulas solenoides ofrecen funciones de apertura o cierre total y no se pueden utilizar para la regulación del flujo de gas o fluido. Existen válvulas solenoides que pueden trabajar con corriente alterna (AC) o con corriente continua (DC) y utilizar diferentes voltajes y duraciones de ciclo de funcionamiento. (22)



Figura 7. Válvula solenoide 2W-025-08 1/4"

2.2.1.3.2 RELÉ 120 V AC A 12 V DC

Es un dispositivo que consta de dos circuitos diferentes: un circuito electromagnético (electroimán) y un circuito de contactos, al cual aplicaremos el circuito que queremos controlar. En la siguiente figura se puede ver su simbología así como su constitución (relé de armadura).

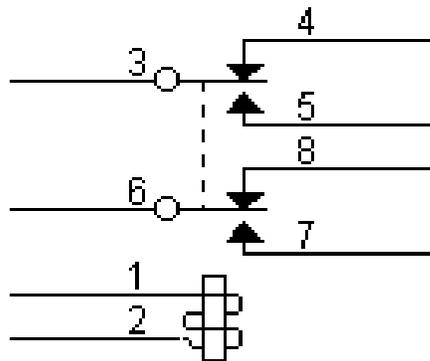


Figura 8. Símbolo del relé de dos circuitos

Su funcionamiento se basa en el fenómeno electromagnético. Cuando la corriente atraviesa la bobina, produce un campo magnético que magnetiza un núcleo de hierro dulce (ferrita). Este atrae al inducido que fuerza a los contactos a tocarse. Cuando la corriente se desconecta vuelven a separarse. (23)



Figura 9. Relé 11 pines

2.2.1.3.3 FILTRO DE AGUA

Un filtro de agua es un aparato compuesto generalmente de un material poroso y carbón activo, que permite purificar este líquido que viene directamente del acueducto y llega a través de los grifos. Al pasar por el filtro, este atrapa las partículas que el agua trae y pueden ser tóxicas o perjudiciales para la salud, algunos de estos elementos son arena, barro, oxido, polvo, hierro, altas cantidades de cloro y bacterias, entre otros.



Figura 10. Filtro de agua de material poroso

2.2.1.3.4 BOMBA DE AGUA

La bomba hidráulica convierte energía mecánica en energía fluida o hidráulica, es decir agregan energía al agua. Estas se conforman por un motor que al ser alimentado genera un caudal y una fuerza determinada a su salida (aumento de la presión del fluido que recorre sus cavidades).



Figura 11. Bomba de paletas

2.2.2. SOFTWARE

2.2.2.1. PHP

Es un lenguaje de código abierto muy popular, Es un lenguaje de script incrustado dentro del HTML. La mayor parte de su sintaxis ha sido tomada de C, Java y Perl con algunas características específicas de sí mismo. La meta del lenguaje es permitir rápidamente a los desarrolladores la generación dinámica de páginas web dinámicas. PHP se procesa en servidores, con un software y hardware especial. Cuando se escribe una dirección tipo: <http://www.aprenderaprogramar.com/index.php>, en un navegador web como Internet Explorer, Firefox o Chrome, se está enviando los datos de la solicitud al servidor que los procesa, luego este reúne los datos (por eso decimos que es un proceso dinámico) y el servidor lo que devuelve es una página HTML como si fuera estática. (31)

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN" "http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd">
<html>
  <head>
    <title>Ejemplo</title>
  </head>
  <body>
    <?php
      echo "Bienvenidos a aprenderaprogramar.com";
    ?>
  </body>
</html>
```

Figura 12. Muestra de programación en PHP

PHP posee las siguientes características:

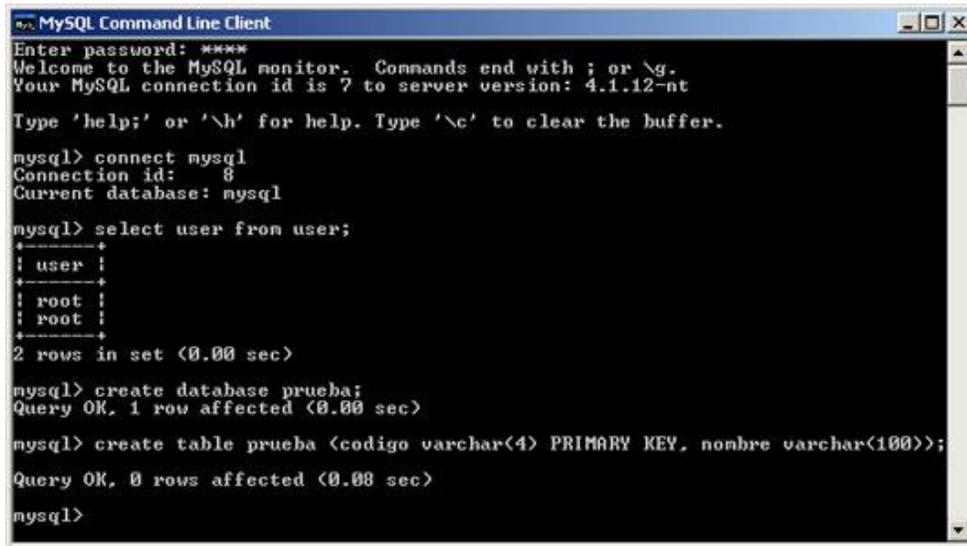
- Procesar la información de formularios.
- Generar páginas con contenidos dinámicos, enviar y recibir cookies.
- utiliza y presenta resultados en otros estándares de datos o lenguajes propios de los desarrollos web.
- Puede interactuar con otros servidores usando cualquier protocolo.
- PHP puede enlazarse con otros lenguajes muy potentes como Java.

2.2.2.2. MYSQL

Es un sistema de gestión de base de datos relacional (RDBMS) de código abierto, basado en lenguaje de consulta estructurado (SQL). Este se ejecuta en prácticamente todas las plataformas, incluyendo Linux, UNIX y Windows. A pesar de que se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones, MySQL se asocia más con las aplicaciones basadas en la web y la publicación en línea.

MySQL actualmente es de propiedad de la empresa Oracle, el cual se gestiona por medio de línea de comandos, pero también existen herramientas que ayudan a dicho objetivo. Una de ellas es phpMyAdmin el cual es un software libre creado en PHP con el objetivo de facilitar la administración de las base de datos creadas en MySQL. Además Oracle brinda una herramienta que facilita el diseño de las bases de datos llamado MySQL Workbench, la cual permite

realizar el modelo entidad relación y la modificación de la estructura de la base de datos por medio de un entorno gráfico, sin necesidad de ejecutar comandos manualmente. (32)



```
MySQL Command Line Client
Enter password: ****
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 7 to server version: 4.1.12-nt

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the buffer.

mysql> connect mysql
Connection id:      8
Current database:  mysql

mysql> select user from user;
+-----+
| user |
+-----+
| root |
| root |
+-----+
2 rows in set (0.00 sec)

mysql> create database prueba;
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> create table prueba (codigo varchar(4) PRIMARY KEY, nombre varchar(100));
Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

mysql>
```

Figura 13. Comando de control MySQL

- Soporta gran cantidad de tipos de datos.
- Gran portabilidad entre sistemas, puede trabajar en distintas plataformas y sistemas operativos.
- Cada base de datos cuenta con 3 archivos: Uno de estructura, uno de datos y uno de índice.
- Aprovecha la potencia de sistemas multiproceso, gracias a su implementación multihilo.
- Bajo costo en requerimientos para la elaboración de bases de datos, ya que debido a su bajo consumo puede ser ejecutado en una máquina con escasos recursos sin ningún problema.

2.2.2.3. NETBEANS IDE 8.1

La plataforma NetBeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole

nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

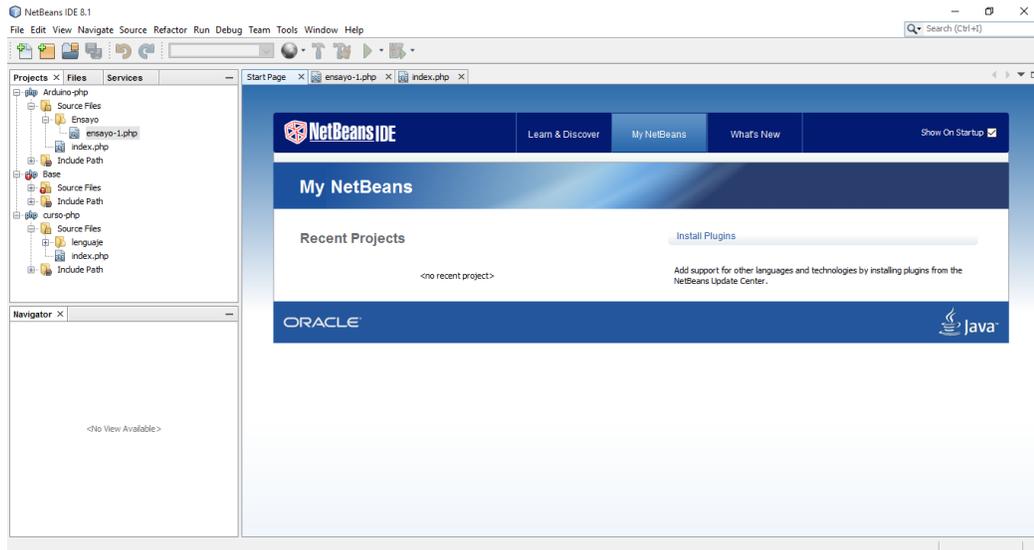


Figura 14. Interfaz de programación

Las aplicaciones pueden instalar módulos dinámicamente. Algunas aplicaciones pueden incluir un módulo de actualización para permitir a los usuarios descargar Actualizaciones de firma digital y nuevas características directamente dentro de la aplicación en ejecución. Reinstalando una actualización o una nueva versión, no obligando a los usuarios a descargar toda la aplicación de nuevo.

La plataforma ofrece servicios reusables comunes para las aplicaciones de escritorio, permitiendo a los desarrolladores centrarse en la lógica de sus aplicaciones. Algunas de las características de la aplicación son:

- Gestión de la interfaz de usuario (menús y barras de herramientas)
- Gestión de configuración de usuario
- Gestión de almacenamiento (guardar o cargar algún tipo de dato)
- Gestión de ventana
- Marco Asistente (soporta diálogos para a paso)
- Librería visual de NetBeans

- Herramientas de desarrollo integrado

NetBeans IDE es libre, código abierto, multiplataforma con soporte integrado para el lenguaje de programación Java. (24)

2.2.2.4. XAMPP CONTROL PANEL

Es un servidor independiente de plataforma, software libre, que consiste principalmente en el sistema de gestión de bases de datos MySQL, el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes de script: PHP y Perl. El nombre proviene del acrónimo de X (para cualquiera de los diferentes sistemas operativos), Apache, MySQL, PHP, Perl. Desde la versión "5.6.15", XAMPP cambió la base de datos de MySQL A MariaDB. El cual es un fork de MySQL con licencia GPL.

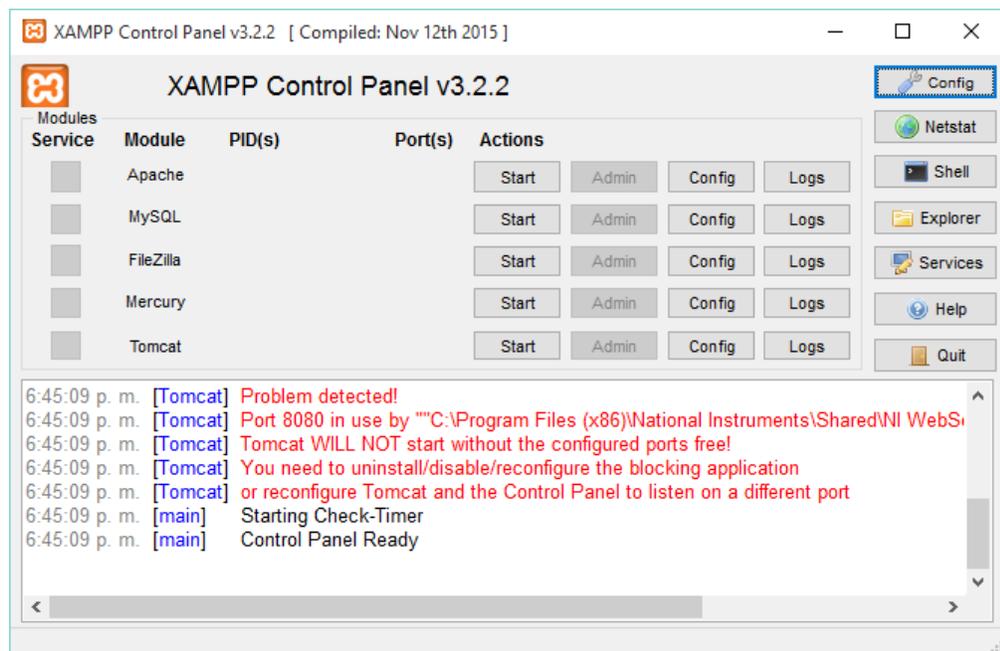


Figura 15. Panel de control conexión a LocalHost

El programa se distribuye bajo la licencia GNU y actúa como un servidor web libre, fácil de usar y capaz de interpretar páginas dinámicas. Actualmente XAMPP está disponible para Microsoft Windows, GNU/Linux, Solaris y Mac OS X. (25)

2.2.2.5. ARDUINO

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

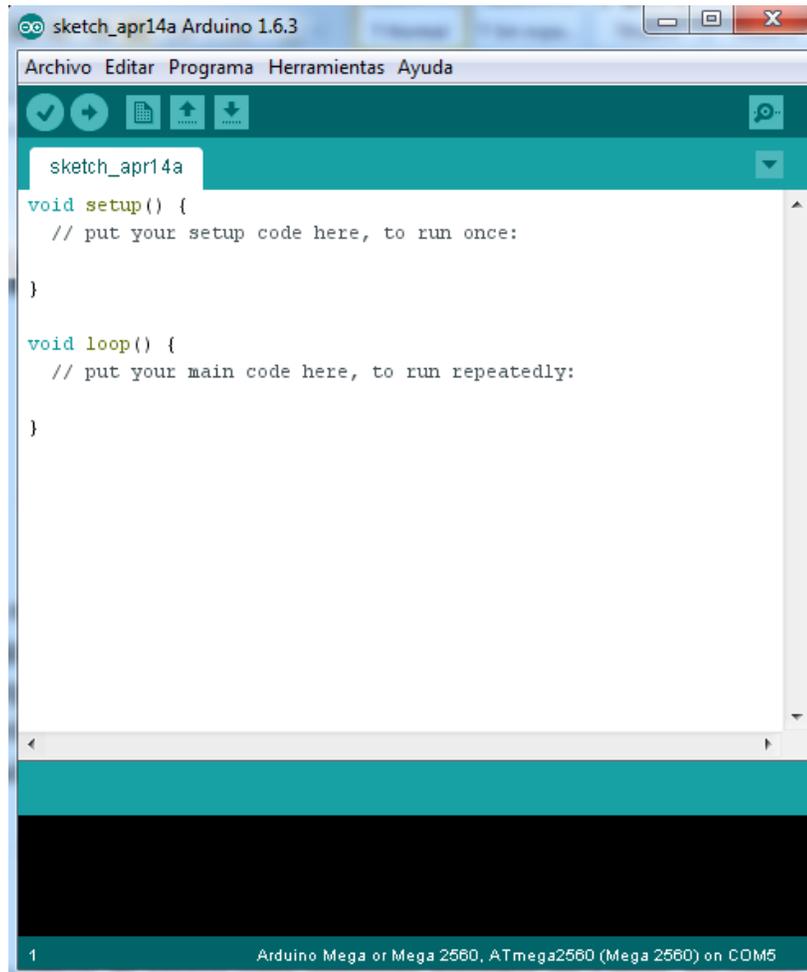


Figura 16. Entorno de programación para Arduino

Fue diseñado principalmente por las siguientes razones:

- Barato.
- Multiplataforma.
- Entorno de programación simple y claro.
- Código abierto y software extensible.
- Código abierto y hardware extensible.

2.2.2.6. APACHE

Es un servidor web HTTP de código abierto para la creación de páginas y servicios web. Es un servidor multiplataforma, gratuito, muy robusto y que destaca por su seguridad y rendimiento. (33)



Figura 17. Logo de Apache

Algunas ventajas de apache son:

- Software de código abierto.
- El servidor web Apache es completamente gratuito.
- Se puede instalar en muchos sistemas operativos, es compatible con Windows, Linux y MacOS.
- Rendimiento. Capacidad de manejar más de un millón de visitas/día.
- Soporte de seguridad SSL y TLS.

2.2.2.7. HTML

Es la abreviatura de Hyper Text Markup Language, es una implementación del standard SGML (Standard Generalized Markup Language), estándar internacional para la definición de texto electrónico o presentar información en la World Wide Web (WWW), independiente de dispositivos, sistemas y aplicaciones, proporciona un medio de codificar documentos hipertexto cuyo destino sea el intercambio directo entre sistemas o aplicaciones; Este es un lenguaje muy sencillo que se basa en el uso de etiquetas, consistentes en un texto ASCII encerrado dentro de un par de paréntesis angulares(<.>). (21)

HTML posee las siguientes características:

- Permite crear lenguajes de codificación descriptivos.
- Define una estructura de documentos jerárquica, con elementos y componentes interconectados.
- Proporciona una especificación formal completa del documento.
- No tiene un conjunto implícito de convenciones de señalización. Soporta, por tanto, un conjunto flexible de juegos de etiquetas.
- Los documentos generados por él son legibles.

Un documento HTML consta de las siguientes piezas:

- Identificación SGML
- Una etiqueta
- Cabecera (iniciada por la etiqueta y cerrada por)
- Cuerpo del documento (iniciada por la etiqueta BODY y cerrada por </BODY>)
- Una etiqueta de fin de documento

```

<!DOCTYPE PUBLIC HTML "-//IETF/DDT HTML 2.0/EN">
<HTML>
<HEAD>

...

</HEAD>
<BODY>

...

</BODY>
</HTML>

```

Figura 18. Estructura de programación de HTML

2.2.2.8. CCS

Se denomina CCS a las hojas de Estilo en Cascada (Cascading Style Sheets), las cuales son un mecanismo simple que describe cómo se va a mostrar un documento en la pantalla, o cómo se va a imprimir, o incluso cómo va a ser pronunciada la información presente en ese documento a través de un dispositivo de lectura. Esta forma de descripción de estilos ofrece a los desarrolladores el control total sobre estilo y formato de sus documentos.

De igual forma, se utiliza para dar estilo a documentos HTML y XML, separando el contenido de la presentación. Los Estilos definen la forma de mostrar los elementos HTML y XML. CSS permite a los desarrolladores Web controlar el estilo y el formato de múltiples páginas Web al mismo tiempo. Cualquier cambio en el estilo marcado para un elemento en la CSS afectará a todas las páginas vinculadas a esa CSS en las que aparezca ese elemento. (30)

CAPITULO 3. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS, CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.

3.1. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

3.1.1. DEPENDIENTES

- Nivel de Agua (m)
- El pH (Escala monocromática)
- Crecimiento de las plantas (cm)

3.1.2. INDEPENDIENTES

- Temperatura (°C y °F)
- Humedad (% de humedad)
- Caudal del agua ($Q= v*A$)
- Nutrientes
- Minerales

3.2. CRITERIOS DE VALIDEZ

3.2.1. INTERNOS

Para la validación del sistema se desarrollará un prototipo para la verificación del funcionamiento de los sensores que medirán las variables correspondientes al cultivo, también se implementará el análisis estadístico con los datos almacenados haciendo uso del error medio, error cuadrático, error RMS, desviación estándar y coeficiente de contingencia.

3.2.2. EXTERNOS

El proyecto a realizar, da a conocer cuál es la inversión final para la realización de este, teniendo en cuenta la demostración de valores acertados y con la utilización de instrumentos y accesorios que permite tener un criterio confiable a la hora de proponer la idea a los productores agrícolas.

3.3. CONFIABILIDAD

Se tendrá presente que las variables a medir tienen variaciones dependientes a los cambios de tipo ambiental, por lo tanto se procede a implementar la realización de un prototipo del cultivo para así adquirir las respectivas señales análogas previstas por el sistema receptor DAQ, además se diseñará una base de datos SQL para mantener el monitoreo y registro de los cambios de las variables.

Dado a los diversos procesos de confiabilidad, se debe tener presente las ventajas que ofrece la elaboración de este tipo de cultivos y esta iniciativa se da a que el uso del suelo trae aparejado como resultado su deterioro que incide negativamente sobre la productividad: malas condiciones físicas, mayor salinidad, PH inadecuado, incidencia de patologías diversas, desbalances nutricionales, etc. También se suman las restricciones sobre el uso de agroquímicos para el control sanitario.

Por eso la hidroponía soslaya todos estos problemas, ya que permite un desarrollo adecuado de las raíces, un control eficiente de la disponibilidad hídrica y de los nutrientes. Al mismo tiempo, permite un uso más eficiente de los invernaderos, dada la rapidez con que pueden efectuarse sucesivos cultivos. Todo esto permite obtener un mayor volumen de producción y calidad.(8)

Los avances tecnológicos se encuentran guiados a la disminución de la intervención de la mano del hombre, ya que se pueden encontrar factores que pueden afectar el estado de ánimo y dado a que se encuentra enfocado a la agricultura algunas personas no poseen el conocimiento adecuado para la manipulación de ciertos elementos, por eso se implementa el uso de la tecnología a procesos agroindustriales ya que aumenta la producción y no se encuentran afectados por factores socioculturales.

CAPITULO 4. CULTIVO HIDROPONICO

4.1. CONSTRUCCIÓN

El proceso de construcción consta un sistema de riego y desagüe para mantener el nivel y la oxigenación adecuada para que las plantas puedan absorber el agua y nutrientes en un tiempo requerido y sin faltar. Además la construcción física se basa en un prototipo de invernadero doméstico.

La estructura consta de soportes de madera y su forma característica de domo o techo triangular para que el agua de lluvia pueda circular sin afectar la estructura. De igual manera se tiene presente los elementos necesarios para la siembra de las semillas seleccionadas.



Figura 19. Modelo de Invernadero

Además, cuenta con un conducto de agua para los tres recipientes impulsados por una bomba de agua, que es encendida o apagada de acuerdo a los niveles que indique el sensor de ultrasonido.



Figura 20. Conducto de entrada de agua y nutrientes

La construcción requiere de un desagüe constante o flujo del agua para así evitar la acumulación de hongos, algas y larvas de zancudos que pueden producir efectos secundarios en las plantas o a los mismos habitantes de la vivienda. Para ello se posee un filtro el cual permite oxigenar constantemente el agua que se encuentre en uso y así evitar cualquier daño a esta.



Figura 21. Desagüe

4.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE CULTIVO

Se realizó una investigación sobre el tipo de plantas que se deben sembrar en un cultivo hidropónico y se determinó que debido al tamaño, ancho, tiempo de germinación y tiempo de cosecha, la selección adecuada se dirigió al cultivo de lechuga.

La siguiente tabla muestra las características principales de algunas plantas y las cuales se deben tener en cuenta para la selección y siembra del cultivo a preferir.

DISTANCIA Y TIEMPO DE TRASPLANTE DE ESPECIES CRIADAS EN SEMILLEROS						
ESPECIE	CLIMA	DISTANCIA ENTRE SURCOS EN CM	DISTANCIA ENTRE PLANTAS EN CM	TIEMPO GERMINACIÓN DÍAS	TIEMPO TRASPLANTE DÍAS	TIEMPO COSECHA DÍAS
TRASPLANTE (SEMILLEROS)						
Acelga*	Frío	20	20	12	21	70
Apio*	Frío	20	20	20	33	90
Brócoli	Frío	30	25	7	21	75
Cebolla	Frío	12	10	10	33	80
Cebollín	Frío	10	8	10	33	55
Chile pimiento	Cálido	35	30	12	37	80
Espinaca	Frío	17	17	8	20	75
Lechuga*	Templado	17	17	5	21	50
Nabo Blanco	Frío	10	8	15	17	75
Perejil	Frío	15	12	15	23	70
Puerro	Templado	10	10	10	37	80
Remolacha	Templado	15	10	10	23	85
Repollo	Frío	30	25	7	33	90
Tomate	Cálido	35	30	6	20	65

* Estas verduras y vegetales pueden trasplantarse en el método de sustrato sólido y de raíz flotante, utilizando las mismas medidas entre surcos y plantas.

Figura 22. Tipos de plantas aptas para cultivos hidropónicos

Se sembraron tres especies diferentes de lechuga las cuales se caracterizan por la siguiente tabla nutricional y por los tipos de sabores que las representan.

La lechuga es un alimento que aporta muy pocas calorías por su alto contenido en agua, su escasa cantidad de hidratos de carbono y menor aún de proteínas y grasas.

En cuanto a su contenido en vitaminas, destaca la presencia de folatos, provitamina A o beta-caroteno, y vitaminas C y E. La lechuga romana cultivada al aire libre es la variedad más rica en vitaminas, mientras que la iceberg es la que menor cantidad de vitamina C presenta.

Los folatos intervienen en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y la formación de anticuerpos del sistema inmunológico.

El beta-caroteno es un pigmento natural que confiere el color amarillo-anaranjado-rojizo a los vegetales y que el organismo transforma en vitamina A según sus necesidades. En el caso de la lechuga, el beta-caroteno está enmascarado por la clorofila, pigmento más abundante. La vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico, además de tener propiedades antioxidantes.

La vitamina E interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad. Ejerce una acción antioxidante que también caracteriza a la vitamina C. Ésta participa en la formación de colágeno, huesos, dientes y glóbulos rojos.

Favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. En cuanto a los minerales, la lechuga destaca por la presencia de potasio y hierro. También contiene magnesio y calcio, aunque en menor proporción. El calcio presente en la lechuga no se asimila apenas si se compara con los lácteos u otros alimentos buena fuente de este mineral. Algo similar ocurre con el hierro, cuya absorción es mucho mayor cuando procede de alimentos de origen animal.

El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, además de colaborar en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.

El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante.

Las hojas más externas de la lechuga concentran la mayor parte de vitaminas y minerales.

Composición por 100 gramos de porción comestible

Energía (Kcal)	16,7
Agua (ml)	95
Hidratos carbono (g)	1,4
Fibra (g)	1,5
Proteínas (g)	1,5
Potasio (mg)	240
Magnesio (mg)	5,7
Calcio (mg)	34,7
Vitamina A (mcg de Eq. de retinol)	29
Folatos (mcg)	33,6
Vitamina C (mg)	12,2

mcg = microgramos (millonésima parte de un gramo)

Tabla 1. Composición nutricional de la Lechuga

4.2.1 TIPOS DE LECHUGA

- Lechuga escarola

Tiene un sabor picante y ligeramente amargo, que aviva el sabor de cualquier ensalada y contrasta muy bien con otros sabores y con vinagretas fuertes. En función de la variedad, las hojas son lisas (escarola lisa) o rizadas (escarola rizada),

con bordes más o menos dentados, dispuestas en rosetas y de color variable, desde el verde oscuro hasta el amarillo. A medida que vamos sacando hojas, va aclarando su color y disminuyendo su sabor amargo. La escarola ofrece su mayor esplendor en invierno.



Figura 23. Lechuga escarola

- Lechuga milanesa

También conocida como trocadero o lechuga colocha, es una lechuga de cogollo, tiene hojas finas, verdes, largas y unidas a un tallo corto, blancuzco y redondo, su textura es mantecosa, tiene un sabor delicado pero intenso. Es apreciada por sus hojas tiernas y su peculiar sabor, suave y dulce, le sientan bien los aderezos ligeros. Su temporada es la primavera.



Figura 24. Lechuga milanese

- Lechuga romana

También llamada española o “oreja de burro”. Es un tipo de lechuga que crece con una larga cabeza y unas hojas robustas, alargadas y con un acentuado nervio central. No forma un verdadero cogollo. Su sabor es ligeramente amargo. Cuando está cultivada al aire libre, es la más nutritiva de todas y por su tolerancia a las temperaturas la podemos encontrar en todas las estaciones del año, aunque en verano alcanza su esplendor.



Figura 25. Lechuga romana

4.3. SUSTRATO

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta. (26)

4.3.1 TIPOS DE SUSTRATOS

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, entre otros.

- **SEGÚN SUS PROPIEDADES.**

Sustratos químicamente inertes: Arena granítica o silíceo, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca.

Sustratos químicamente activos: Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos.

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato. Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de absorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal.

Para este caso la plantación se realizó en tres tipos de sustratos de acuerdo a sus propiedades químicas y a beneficio de las plantas, teniendo en cuenta el clima, el tiempo previsto para la cosecha y el tiempo que se destinaria en su riego diario. Estos sustratos se clasificaron en tres etapas o capas, la primera capa se encuentra conformada por una capa de piedra pómez (roca volcánica), corteza de árbol, la segunda capa está constituida por cascarilla de arroz y la tercera capa que es la superficial es compuesta en fibra de coco.



Figura 26. Sustratos cascarilla de arroz, corteza de árbol y piedra pómez (piedra volcánica)

Los sustratos señalados en la figura 23 poseen las siguientes propiedades:

- Piedra volcánica

Son materiales de origen volcánico que se utilizan sin someterlos a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación. Están compuestos de sílice, alúmina y óxidos de hierro. También contiene calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos. Las granulometrías son muy variables al igual que sus propiedades físicas. El pH de las tierras volcánicas es ligeramente ácido con tendencias a la neutralidad. La C.I.C. es tan baja que debe considerarse como nulo. Destaca su buena aireación, la inercia química y la estabilidad de su estructura. Tiene una baja capacidad de retención de agua, el material es poco homogéneo y de difícil manejo.

- Corteza de árbol

Se pueden emplear cortezas de diversas especies vegetales, aunque la más empleada es la de pino, que procede básicamente de la industria maderera. Al ser un material de origen natural posee una gran variabilidad. Las cortezas se emplean en estado fresco (material crudo) o compostadas. Las cortezas crudas pueden provocar problemas de deficiencia de nitrógeno y de fitotoxicidad. Las propiedades físicas dependen del tamaño de sus partículas, y se recomienda que el 20-40% de dichas partículas sean con un tamaño inferior a los 0,8 milímetros. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0,1 a 0,45 g/cm³. La porosidad total es superior al 80-85%, la capacidad de retención de agua es de baja a media, siendo

su capacidad de aireación muy elevada. El pH varía de medianamente ácido a neutro. La CIC es de 55 meq/100 g.

- Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz se utiliza fundamentalmente con grava, ya que este es muy liviano y su capacidad de retención de humedad es baja, con un 40%, ya mezclado.

La principal función de esta mezcla es favorecer la oxigenación del sustrato. Si utilizas cáscara de arroz es recomendable hacer un proceso de desinfección química o anaerobia, con el fin de eliminar partículas pequeñas, así como hongos, larvas de insectos u otro microorganismo que pueda ocasionarnos una contaminación a nuestro cultivo hidropónico. (27)



Figura 27. Sustrato de coco

El sustrato mencionado en la figura 24 se encuentra compuesto por las siguientes propiedades:

- Sustrato de coco

Este producto se obtiene de fibras de coco. Tiene una capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6,3-6,5) y una

densidad aparente de 200 kg/m³. Su porosidad es bastante buena y debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee.

4.4. PROCESO DE CRECIMIENTO

Según estudios previos que se observaron mientras se determinaba el tipo de planta a sembrar se observó que la lechuga tiene un proceso de entre 50 – 70 días desde su germinación hasta su cosecha. De ahí se parte la toma de evidencias fotográficas para demostrar su proceso de crecimiento.



Figura 28. Semana uno, proceso de germinación



Figura 29. Semana 5



Figura 30. Semana 7



Figura 31. Semana 10



Figura 32. Semana 13

4.5 TIPO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

- Puntas de las hojas jóvenes quemadas

La causa puede ser por falta de calcio y además por un excesivo calor, salinidad, exceso de nitrógeno y defecto de potasio, desequilibrio de riegos y escasa humedad relativa. Evita los excesos de nitrógeno, con objeto de prevenir posibles fitotoxicidades por exceso de sales.



Figura 33. Evidencia 1 enfermedad por falta de calcio

- Espigado o subida de la flor

Diversos factores influyen en el desarrollo del espigado: características genéticas, endurecimiento de la planta en primeros periodos de cultivo, fotoperiodos largos, elevadas temperaturas, sequía en el suelo y exceso de nitrógeno. Esta fisiopatía afecta negativamente al acogollado de la lechuga. (28)

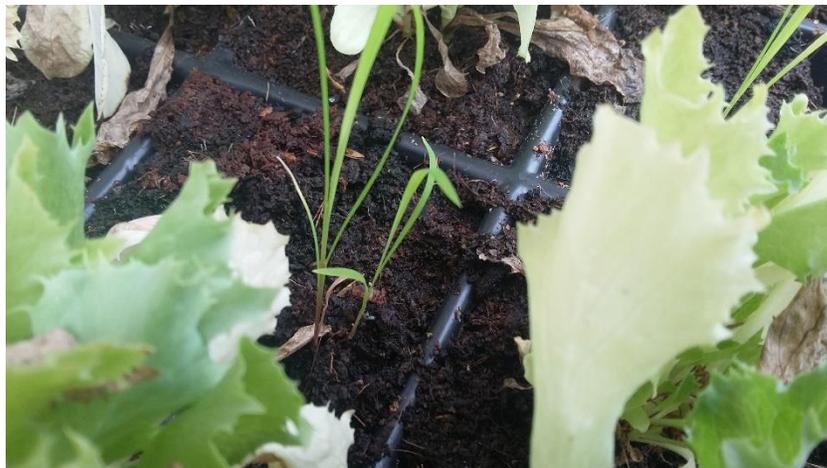


Figura 34. Evidencia 2, espigado

CAPITULO 5. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE

5.1. IMPLEMENTACIÓN

Para demostrar el funcionamiento adecuado de los sensores en la parte de adquisición de datos por medio de un Arduino Mega 2560 se desarrollaron diversos programas que arrojaron resultados esperados según las variables de tiempo y clima, ya que estas variables tienden a afectar algunas mediciones.

En el sensor nivel se implementó un sensor HC- SR04 y se conectó al Arduino y esto para medir el nivel del agua en cada uno de los recipientes donde se encontraban sembradas las lechugas.

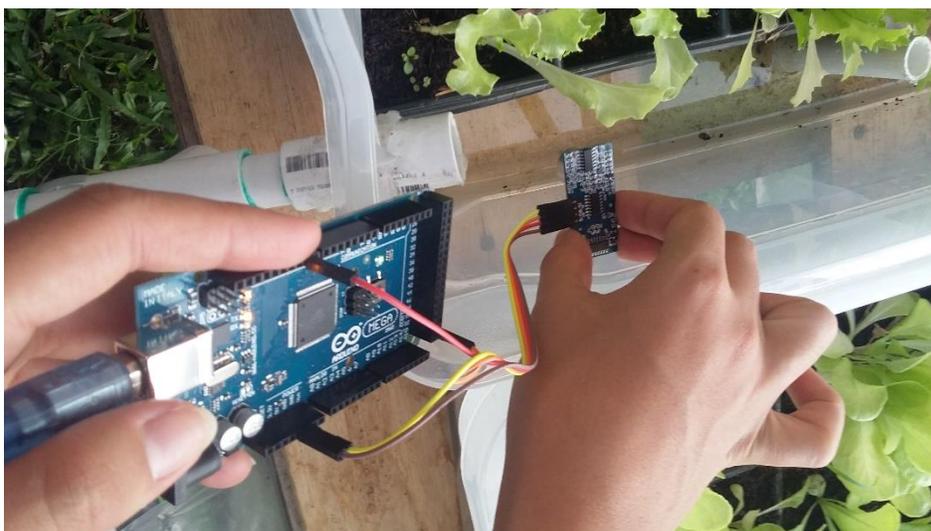


Figura 35. Medición del nivel del agua

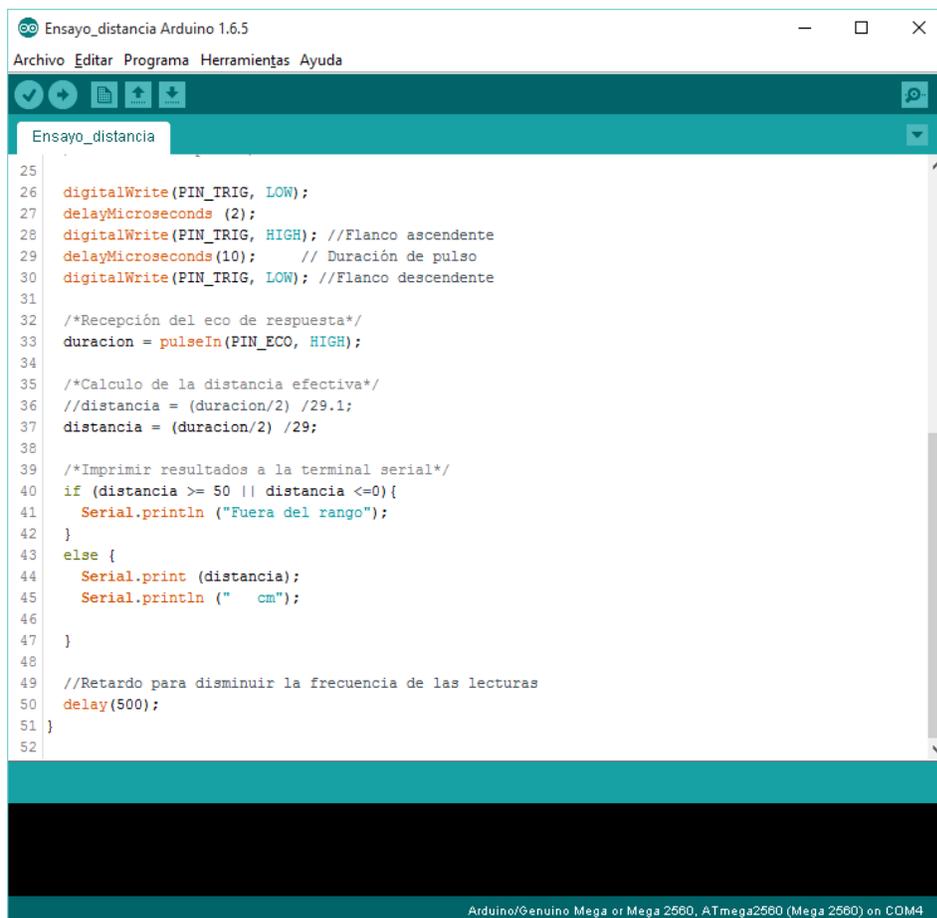
Se programó de tal modo que pudiese adquirir una medida continua y estándar para mantener el nivel del agua adecuado para que las plantas pudiesen adsorber lo necesario para su desarrollo diario. La programación consta de las medidas del receptor del sensor transmitidas de forma ultrasónica hasta la superficie del agua.

```
Ensayo_distancia Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Ensayo_distancia
1 |*****
2 |Prueba sensor de nivel HC-SR04 con Arduino
3 |*****
4 |Conexiones:
5 | - TRIG al pin 9 pwm
6 | - ECHO al pin 52 digital
7 |*****/
8 |
9 |#define PIN_TRIG 9
10|#define PIN_ECO 52
11|
12|void setup() {
13|  // Inicialización de la comunicación serial
14|  Serial.begin (9600);
15|  //Inicialización de pines digitales
16|  pinMode (PIN_TRIG, OUTPUT);
17|  pinMode (PIN_ECO, INPUT);
18|}
19|
20|
21|void loop() {
22|  long duracion, distancia;
23|
24|  /* Hacer el disparo */
25|
26|  digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
27|  delayMicroseconds (2);
28|  digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH); //Flanco ascendente
```

Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4

Figura 36. Programación del sensor de nivel. Parte 1



```
25
26 digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
27 delayMicroseconds (2);
28 digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH); //Flanco ascendente
29 delayMicroseconds(10); // Duración de pulso
30 digitalWrite(PIN_TRIG, LOW); //Flanco descendente
31
32 /*Recepción del eco de respuesta*/
33 duracion = pulseIn(PIN_ECO, HIGH);
34
35 /*Calculo de la distancia efectiva*/
36 //distancia = (duracion/2) /29.1;
37 distancia = (duracion/2) /29;
38
39 /*Imprimir resultados a la terminal serial*/
40 if (distancia >= 50 || distancia <=0){
41     Serial.println ("Fuera del rango");
42 }
43 else {
44     Serial.print (distancia);
45     Serial.println (" cm");
46 }
47
48
49 //Retardo para disminuir la frecuencia de las lecturas
50 delay(500);
51 }
52
```

Figura 37. Programación del sensor de nivel. Parte 2

De lo anterior se toman unos datos que son evidenciados en el Monitor Serie del software de Arduino y dieron un estimado de 6 centímetros desde el borde principal del recipiente hasta la superficie del agua.

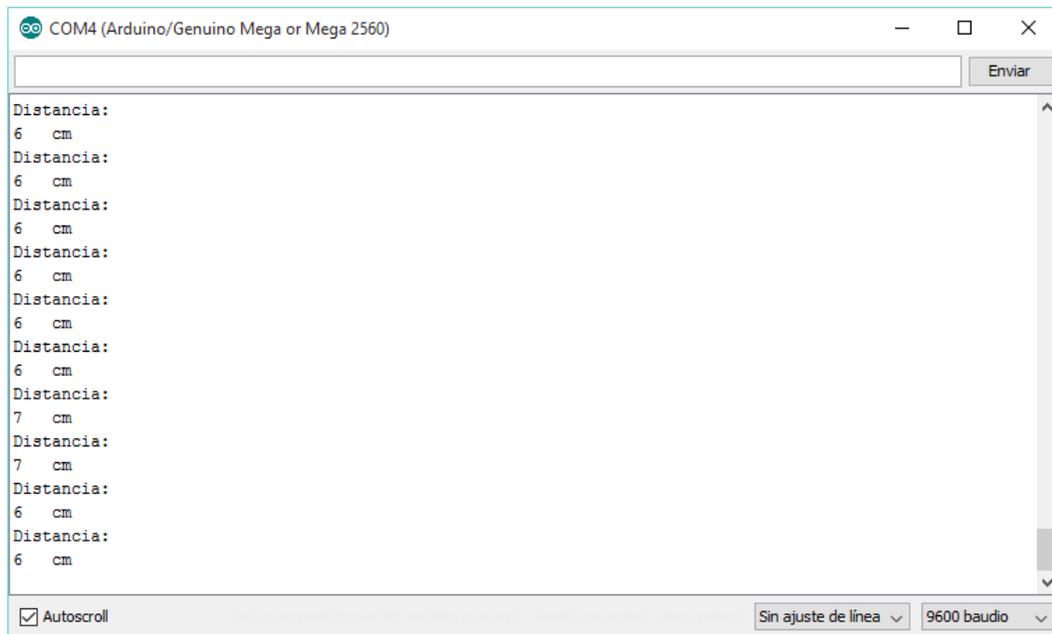


Figura 38. Resultados sensor de nivel

Siguiendo con la toma de muestras, al momento de tomar la temperatura y la humedad se determinó implementar el sensor DHT 11 y en donde su conexión con la tarjeta Arduino se manipulo de tal forma que dos sensores totalmente iguales pudiesen medir variables distintas y así obtener los datos requeridos en un tiempo determinado.

El incremento observado comparado con la temperatura y humedad del ambiente se da debido a que el cultivo se encuentra bajo un domo cubierto de plástico produciendo incrementos de 1 a 2 grados centígrados y una disminución de 5 a 9 en el porcentaje de humedad. La determinación del aumento de estas variables se toman de referencia de datos tomados en el exterior o reflejados en el ambiente externo cultivo.

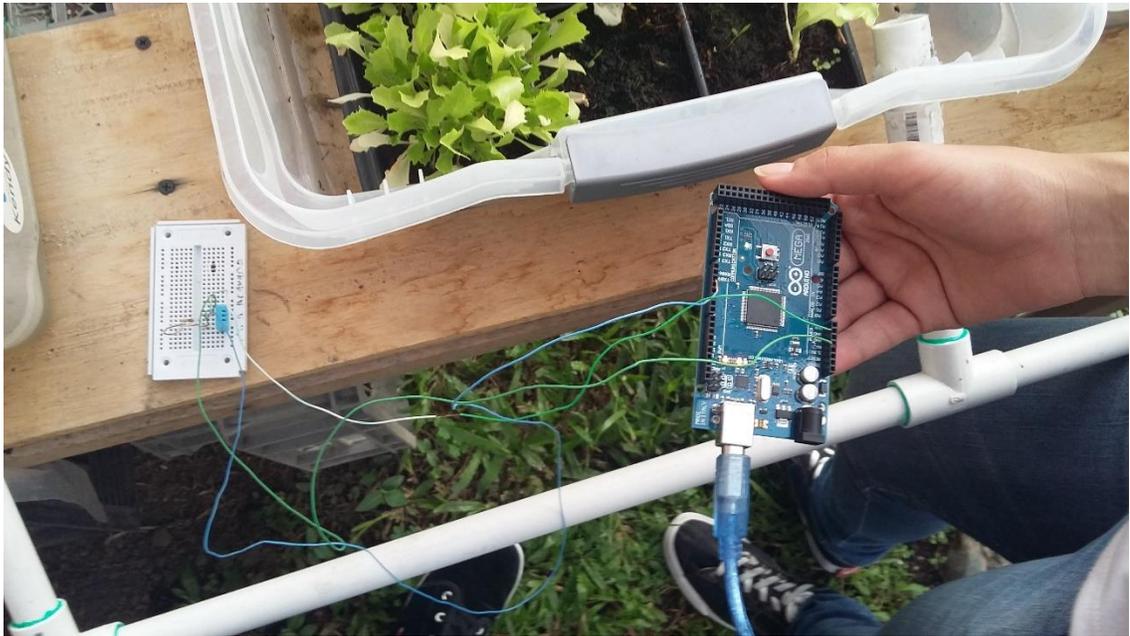


Figura 39. Medición de temperatura y humedad

En la figura 38 se puede observar la programación diseñada para efectuar la medida de temperatura y humedad. A esta se le debió agregar la librería del sensor, debido a que es un sensor de señal digital se debe reprogramar antes de definir las mediciones aceptadas por él.

```
temperatura Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

temperatura
1 #include "DHT.h" //cargamos la libreria DHT
2
3 #define DHTPIN 2 //Seleccionamos el pin en el que se //conectará el sensor
4
5 #define DHTTYPE DHT11 //Se selecciona el DHT11 (hay //otros DHT)
6
7 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Se inicia una variable que será usada por Arduino para comunicarse con el sensor
8
9 void setup() {
10 Serial.begin(9600); //Se inicia la comunicación serial
11 dht.begin(); //Se inicia el sensor
12 }
13 void loop() {
14 float h = dht.readHumidity(); //Se lee la humedad
15 float t = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura
16 //Se imprimen las variables
17 Serial.println("Humedad: ");
18 Serial.println(h);
19 Serial.println("Temperatura: ");
20 Serial.println(t);
21 delay(1000); //Se espera 2 segundos para seguir leyendo //datos
22 }
23
24
```

Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4

Figura 40. Programación del sensor DHT 11

De lo anterior la información arrojada por el Monitor Serie nos otorgó diversos rangos de medición que al ser comparadas con la temperatura y humedad en diferentes instantes de tiempo nos evidencio el incremento observado.



Figura 41. Temperatura y humedad del ambiente

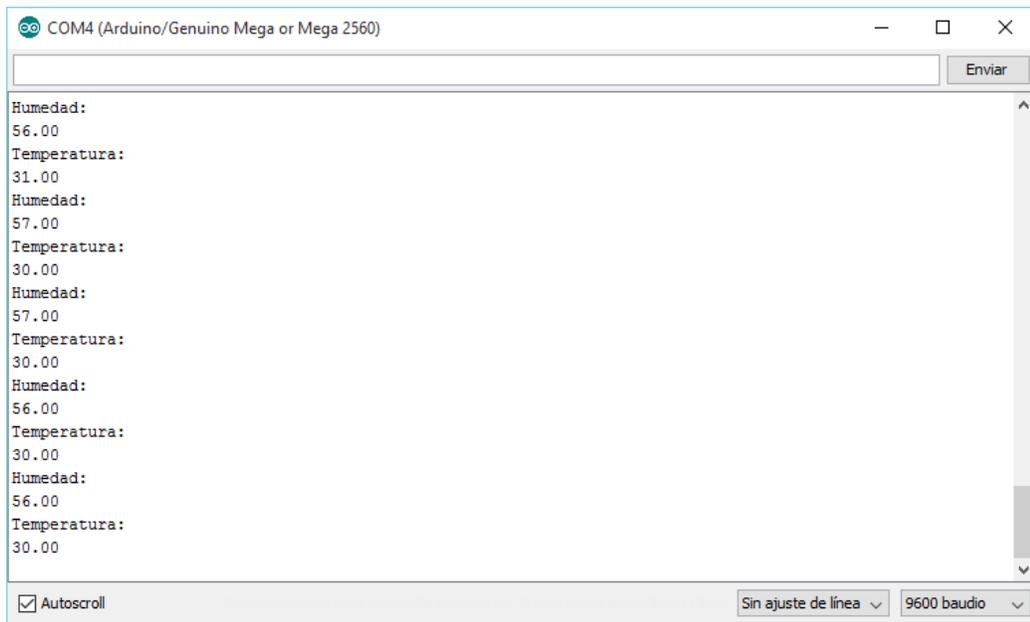


Figura 42. Rangos de medida, temperatura y humedad

De igual forma se realizó la medición del último sensor que es pH en el agua que se estaba manejando para que el cultivo adquiriera los nutrientes necesarios para su crecimiento. Para esto se utilizó un sensor con salida en digital y se programó para que así imprimiera los valores requeridos, estas variables se compararon con tablas encontradas por medios web, de tal modo que ayudo a la determinación de los valores arrojados por él.

```
EZ_com_mega Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
EZ_com_mega
18
19 String inputstring = ""; //a string to hold incoming data from the PC
20 String sensorstring = ""; //a string to hold the data from the Atlas Scientific product
21 boolean input_stringcomplete = false; //have we received all the data from the PC
22 boolean sensor_stringcomplete = false; //have we received all the data from the Atlas Scientific product
23
24
25 void setup() { //set up the hardware
26   Serial.begin(9600); //set baud rate for the hardware serial port_0 to 9600
27   Serial3.begin(9600); //set baud rate for software serial port_3 to 9600
28   inputstring.reserve(5); //set aside some bytes for receiving data from the PC
29   sensorstring.reserve(30); //set aside some bytes for receiving data from Atlas Scientific product
30 }
31
32
33
34 void serialEvent() { //if the hardware serial port_0 receives a char
35   char inchar = (char)Serial.read(); //get the char we just received
36   inputstring += inchar; //add it to the inputString
37   if(inchar == '\r') {input_stringcomplete = true;} //if the incoming character is a <CR>, set the flag
38 }
39
40
41 void serialEvent3(){ //if the hardware serial port_3 receives a char
42   char inchar = (char)Serial3.read(); //get the char we just received
43   sensorstring += inchar; //add it to the inputString
44   if(inchar == '\r') {sensor_stringcomplete = true;} //if the incoming character is a <CR>, set the flag
45 }
46
Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4
```

Figura 43. Programación sensor de pH. Parte 1

```
EZ_com_mega Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
EZ_com_mega
36   inputstring += inchar; //add it to the inputString
37   if(inchar == '\r') {input_stringcomplete = true;} //if the incoming character is a <CR>, set the flag
38 }
39
40
41 void serialEvent3(){ //if the hardware serial port_3 receives a char
42   char inchar = (char)Serial3.read(); //get the char we just received
43   sensorstring += inchar; //add it to the inputString
44   if(inchar == '\r') {sensor_stringcomplete = true;} //if the incoming character is a <CR>, set the flag
45 }
46
47
48
49 void loop(){ //here we go...
50
51 if (input_stringcomplete){ //if a string from the PC has been received in its entirety
52   Serial3.print(inputstring); //send that string to the Atlas Scientific product
53   inputstring = ""; //clear the string;
54   input_stringcomplete = false; //reset the flag used to tell if we have received a completed string from the PC
55 }
56
57 if (sensor_stringcomplete){ //if a string from the Atlas Scientific product has been received in its entirety
58   Serial.println(sensorstring); //send that string to the PC's serial monitor
59   sensorstring = ""; //clear the string;
60   sensor_stringcomplete = false; //reset the flag used to tell if we have received a completed string from the Atlas Scientific product
61 }
62 }
63
64
Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4
```

Figura 44. Programación sensor de pH. Parte 2

El sensor arroja valores en mili voltios (mV), debido a que maneja rangos de -414.12 a 414.12, cuyos niveles son comparados en una tabla para así determinar el nivel de pH en el agua. Estas comparaciones se pueden observar en la tabla 2.

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	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

Tabla 2. Nivel de comparación tensión a medidas de PH

Los niveles aceptables para un cultivo prospero son entre 5.6 y 6.5 en la escala de medición del pH, esos fueron los datos indicados por el sensor en nuestro cultivo, determinando que se mantiene en los estándares prósperos para un crecimiento adecuado.

En la figura 44 se puede observar cuáles son los estándares de acuerdo a códigos de colores o nomenclatura para determinar el valor de pH de los líquidos.

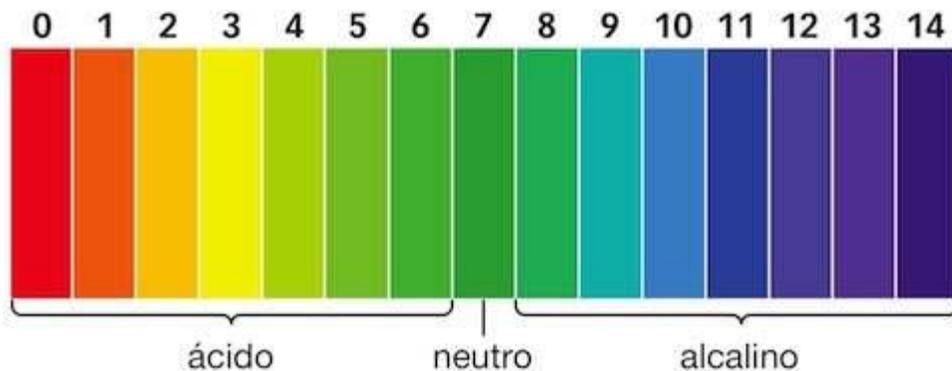


Figura 45. Código de colores y nomenclatura para resultados de PH

5.2 DESARROLLO DE SOFTWARE

Al tener el sistema de instrumentación y la programación de cada sensor se debe realizar un sistema de registro, que permita almacenar los datos de forma virtual. De esto el desarrollo de una interfaz, la cual, permita el registro de cada usuario y

así este pueda tener su cultivo monitoreado las 24 horas día sin la necesidad de estar cerca.

Para lo anterior se recurrió a 2 tipos de programación que permitieran desarrollar tanto la interfaz web como la lógica con la que esta opere. Estos son la programación con PHP y HTML, para el desarrollo y uso de estos tipos de programación se utiliza el software de distribución libre Netbeans el cual permite programar ambos en un mismo archivo.

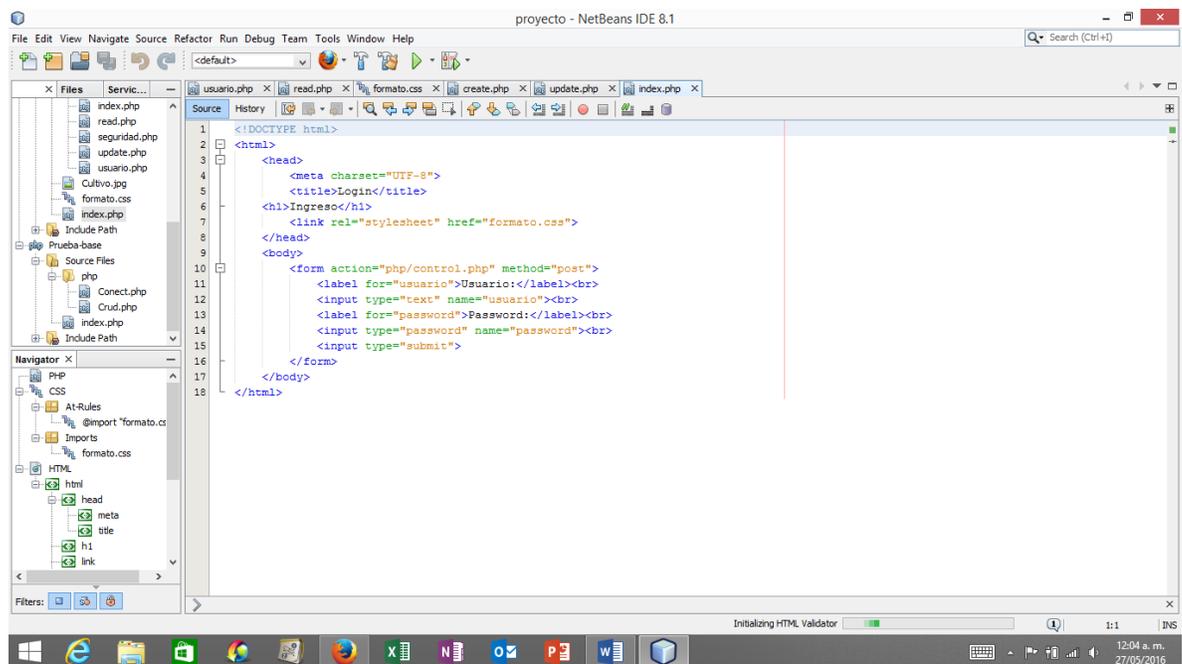


Figura 46. Programación HTML para Login

El primer paso a desarrollar la página web se procedió a la creación una página inicial la cual trabaja como Login (figura 47) y así dependiendo de los datos ingresados se otorgará un permiso al usuario y de esta forma será dirigido a la página autorizada. Por ejemplo, en caso de que el usuario sea el administrador como es natural, este tiene las funciones más importantes y de control de la página, principalmente la de administrar los usuarios, ya sea en creación (figura 45), actualización de datos o eliminación de estos.

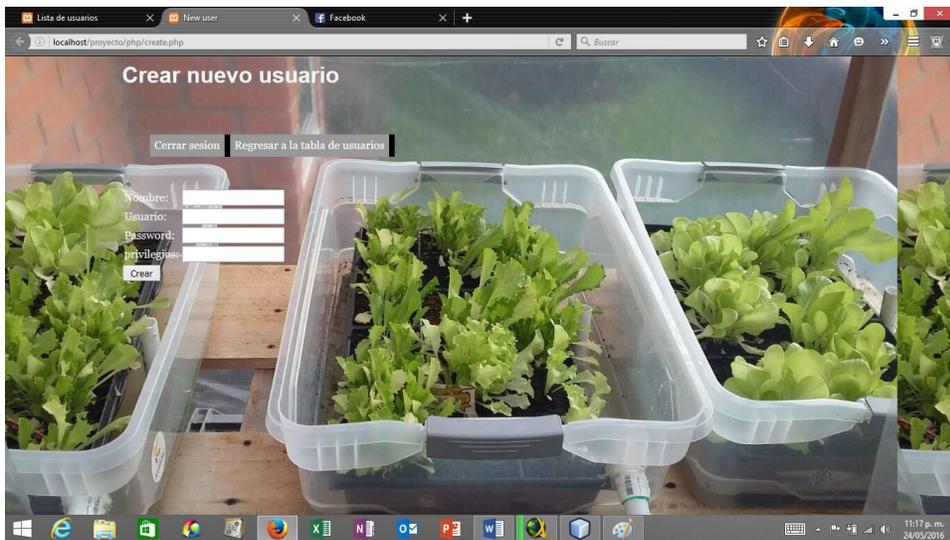


Figura 47. Creación de usuarios página web

Con respecto al modelo de funcionamiento su desarrollo es similar a las cuentas de usuario en cualquier página que la requiera, por su programación identifica el usuario y la clave, esta implementación se observa en la figura 46 y la estructura de ingreso en la figura 44.

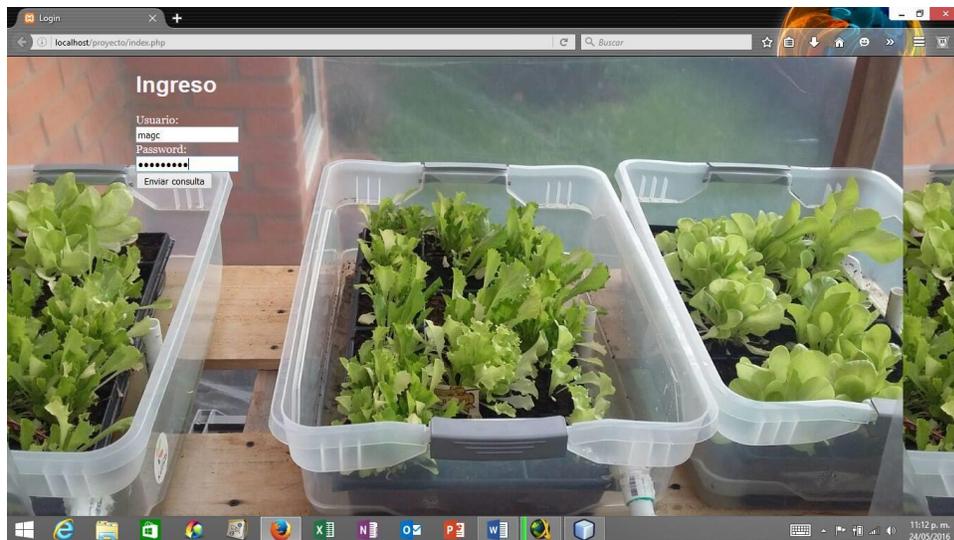


Figura 48. Página de inicio



Figura 49. Página para usuario

Al permitir el ingreso en caso de ser un usuario con el privilegio de cliente, se direcciona a la tabla de datos, en la cual muestran los datos almacenados en la base de datos con los datos de ID tipo de sensor, la fecha, hora y los rangos variados de medición (figura 47).

Para el caso del administrador o alguien con privilegios similares aparecen diversas opciones a realizar desde la creación de nuevos usuarios (figuras 45, 48, 49), Actualización de usuarios, o la eliminación de estos.

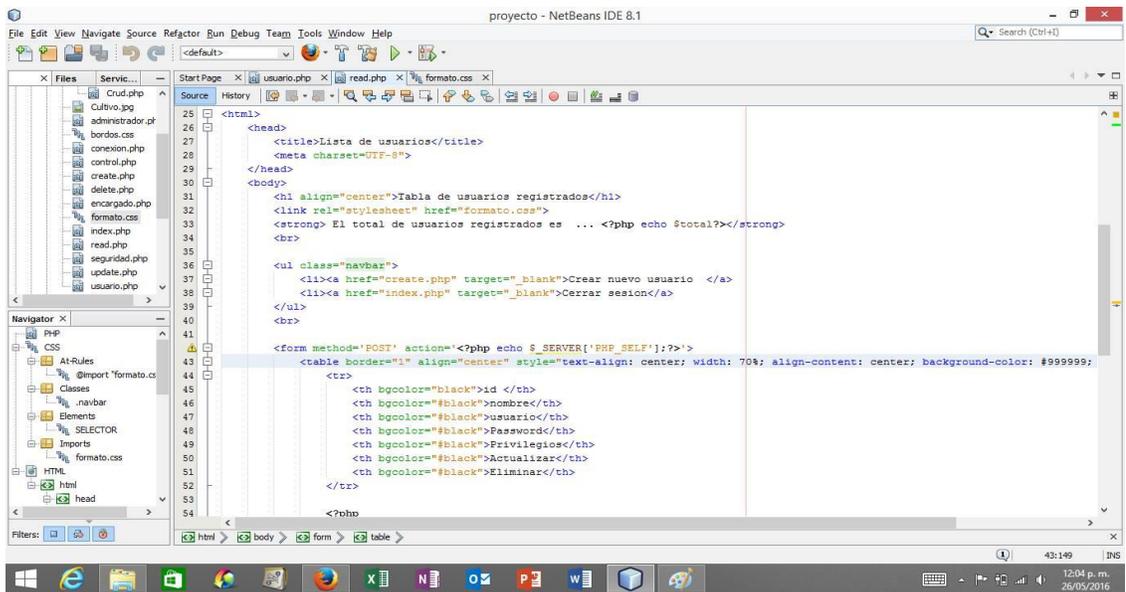


Figura 50. HTML para creación de tabla usuarios. Parte 1

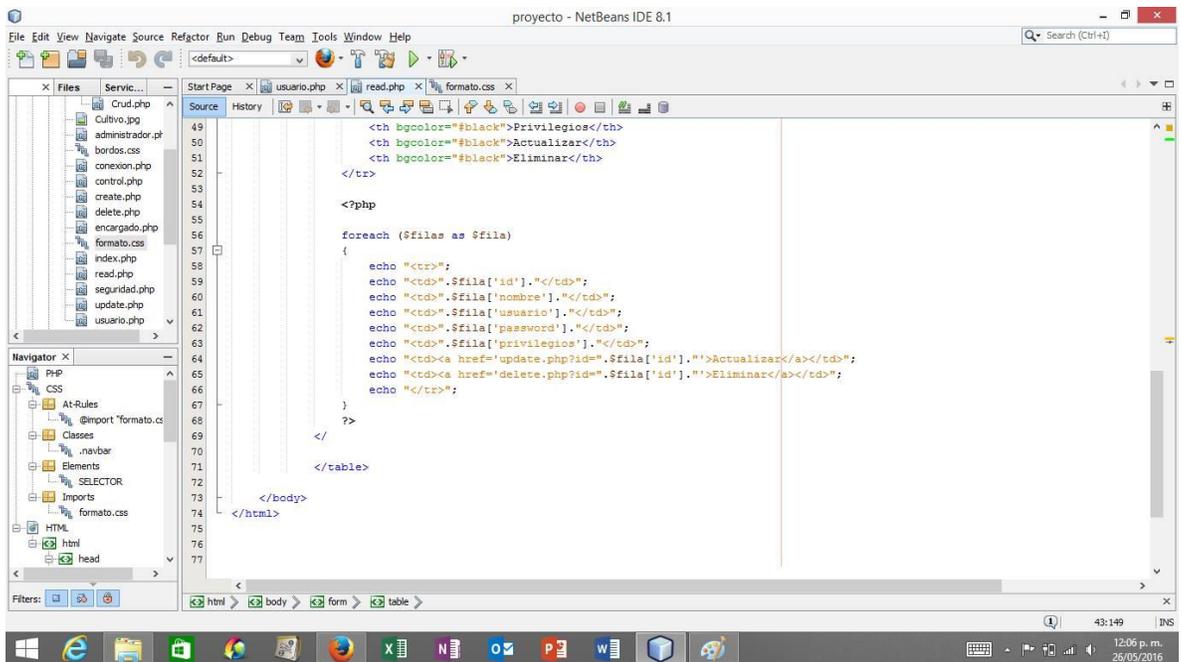


Figura 51. HTML para creación de usuarios. Parte 2

Para lograr lo anterior primero se debe contar con una base de datos para usuarios y otra para las medidas del cultivo. Se utilizó MySQL el cual es de distribución libre, este permite generar bases de datos desde el ámbito funcional.

	id	nombre	usuario	password	privilegios
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	Miguel	magc	940bae10ca539c9d097187f5d5cc554f	2
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	usuario	usuario	f8032d5cae3de20fcec887f395ec9a6a	0
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	cliente	cliente	d94019fd760a71edf11844bb5c601a4de95aacaf	0

↑ Seleccionar todo Para los elementos que están marcados: Editar Copiar Borrar Exportar

Figura 52. Base de datos MySQL usuarios

En la Figura 50, que corresponde a la tabla USUARIO, conformada por 5 columnas que permiten la identificación iniciando con id; que identifica la fila donde es almacenado el usuario; nombre; un usuario, en donde se guardara el correo electrónico o el Nick, el cual servirá para acceder a la plataforma y para que le sean enviados la información correspondiente al cultivo; password, guardará la contraseña con el cual el usuario podrá acceder a su cuenta en la página, todo esto se requiere para validar la información de cada usuario; y finalmente los privilegios, de los cuales el 0 indica que es un cliente, 1 indica que es personal autorizado por el administrador y 2 el administrador.

En la figura 51 se encuentra el formato CCS, este trabaja como la parte estética de la página al permitir insertar fondos, ajustar letra, modificar posición de los ítem, entre otras funciones

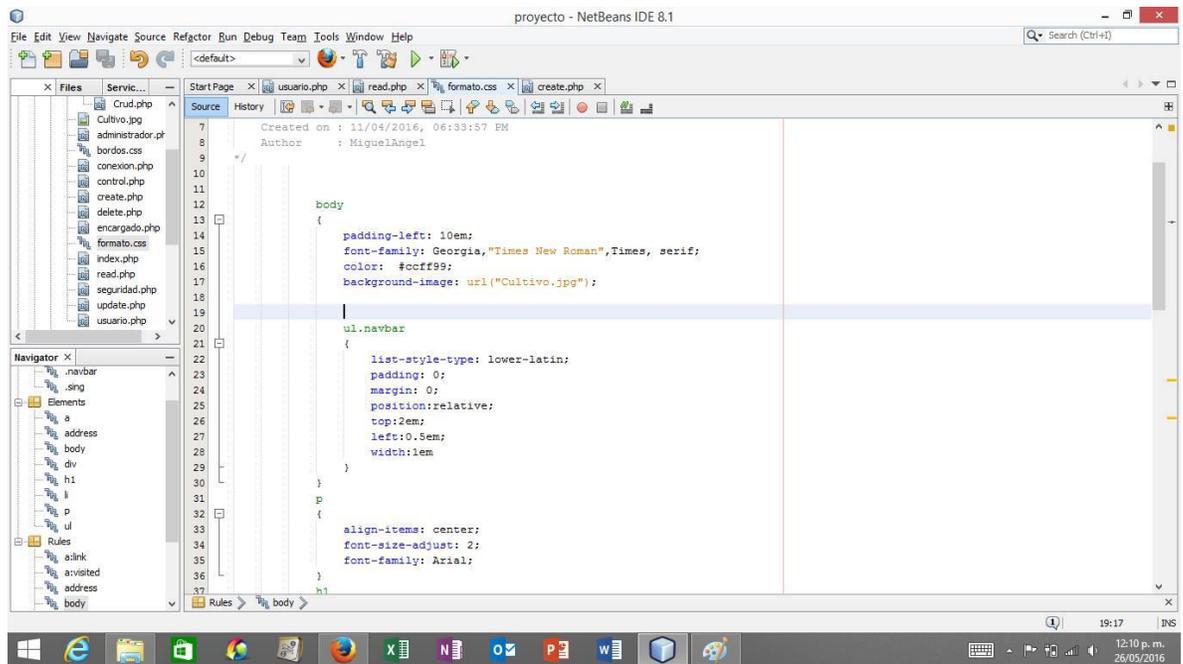


Figura 53. Formato CCS

+ Opciones

			id	sensor	medida	fecha	hora
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	1	1	56	2016-04-11 13:22:46
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2	2	30	2016-04-11 13:23:08
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	3	1	57	2016-04-11 14:21:52
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	4	2	30	2016-04-11 14:22:14
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	5	1	57	2016-04-15 10:16:24
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	6	2	30	2016-04-15 10:16:44
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	7	3	6	2016-04-15 10:17:04
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	8	1	56	2016-04-20 11:17:31
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	9	2	30	2016-04-20 11:18:01
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	10	3	6	2016-04-20 11:18:21
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	11	1	56	2016-04-26 16:43:27
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	12	2	30	2016-04-26 16:43:47
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	13	3	6	2016-04-26 16:44:07

Figura 54. Historial en MySQL

La figura 52 corresponde a la tabla de almacenamiento de medidas, con 5 columnas; id, que corresponde a un número designado para cada registro; sensor almacena la identificación del sensor que envía el dato; medida, el cual indica en la medida enviada por el sensor; fecha y hora, muestra fecha y hora en la que ha ocurrido un evento.

CAPITULO 6. ANALISIS Y RESULTADOS

En el desarrollo del prototipo se utilizaron los siguientes materiales que tienen un costo total de \$604 680. Cada elemento se implementó en la construcción física, electrónica y de medición.

Cultivo Hidropónico			
Elementos	Cantidad	Costo C/U	Costo
Construcción base o bancada de cultivo			
Bandeja de siembra	3	5900	17.700
Cinta ductos 48mm	1	16900	16.900
Varillas 1/4 5m	5	3600	18.000
Manguera transparente 5m	5	900	4.500
Plástico negro	1	11700	11.700
Plástico transparente	1	11700	11.700
Canastas	3	10000	30.000
Cajón transparente	3	30000	90.000
Cajón transparente 2	1	36000	36.000
Filtro de aire	1	22000	22.000
Silicona	1	13700	13.700
Tubería			
Codos	4	720	2.880
Conector T	4	900	3.600
Conector hembra	3	900	2.700
Conector macho	3	900	2.700
Tubo 4 m	4	1850	7.400
Elementos electrónicos			
Válvula solenoide	1	62800	62.800
Relé 11 pines + base	1	13800	13.800
Arduino Mega 2560	1	50000	50.000
Semilla			
Semilla lechuga	2	3400	6.800
Semilla lechuga orgánica	1	4200	4.200
Sustrato para orquídea	2	12000	24.000
Sustrato de arroz	1	4500	4.500
Sustrato de coco	2	5900	11.800
Sensores			
PH	1	90000	90.000
Temperatura	1	9600	9.600
Humedad	1	9600	9.600
Nivel	3	8700	26.100
TOTAL			604.680

Tabla 3. Componentes utilizados.

Debido a la utilización de datos numéricos, se debe realizar una validación de los mismos, por lo tanto se utilizaran las medidas de tendencia central y el porcentaje de error para garantizar la estabilidad de las mismas.

MUESTRAS DEL SENSOR				
	NIVEL	TEMPERATURA	HUMEDAD	Ph
1	6	31	56	6
2	6	30	57	6
3	6	30	57	6
4	6	30	56	6
5	5	30	56	7
6	6	29	56	7
7	7	28	56	6
8	7	30	56	6
9	6	28	57	6
10	5	30	57	6

Tabla 4. Medidas de los sensores

La tabla 4 muestra 10 datos de cada sensor tomadas en un tiempo determinado.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL			
TIPO DE SENSOR	MEDIA	MEDIANA	MODA
NIVEL	6	6	6
TEMPERATURA	30	30	30
HUMEDAD	56,4	56	56
Ph	6,2	6	6

Tabla 5. Medidas de tendencia central para los datos adquiridos

En la tabla 5 muestra las medidas de tendencia central que son aquellas que permiten conocer el promedio de los datos, el dato medio o el dato que más se repite. También permite dividir los datos en partes para su análisis.

De tal modo que la media consiste en sumar los datos y dividirlos entre la cantidad obtenidos; la mediana es el dato del centro, es decir, divide el total de datos en dos partes iguales, la moda es el dato que más se repite. De lo anterior se deducen los datos, los cuales nos muestran una constante sin mayor variación, presentando una información igual o similar a la promediada.

PORCENTAJE DE ERROR			
TIPO DE SENSOR	VALOR TEORICO	VALOR EXPERIMENTAL	% ERROR
NIVEL	7	6	14,29
TEMPERATURA	29	30	3,45
HUMEDAD	56	56,4	0,71
Ph	6,5	6,2	4,62

Tabla 6. Porcentaje de error estadístico

En la tabla 6 se observa el porcentaje de error en cada uno de los datos obtenidos, partiendo de los valores que se deben tener presentes para un óptimo desarrollo del sistema comparados con el promedio efectuado en los datos de cada sensor, esto indica una variación de dicho porcentaje según sea su comportamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de diversas ideas genera al final una serie de conclusiones y recomendaciones que se deben tener presentes para la elaboración de futuros proyectos con el mismo interés académico al presentado anteriormente. Esto se debió a que la proyección de nuevas ideas de innovación para una agricultura tecnificada nos garantizó la culminación del proyecto deseado y además de eso genero diversos desenlaces que teniendo en cuenta los objetivos iniciales nos indicó el análisis final de estos.

- Gracias al avance tecnológico se pudo desarrollar un sistema de instrumentación económico y confiable para cada medida.
- Se desarrolló un sistema de comunicación que comunica a la tarjeta de adquisición de datos con la base de datos MySQL, pero esto debido a los problemas de desarrollo que aún enfrenta la comunicación inalámbrica (Wi-Fi) a pequeña escala. Se recurrió a comunicación tradicional por cable Ethernet.
- Se presentaron diferentes problemas a la hora de desarrollar la página web, iniciando por el desconocimiento por este tipo de programación. Finalmente se desarrolló una interfaz web que cumple con las expectativas iniciales del proyecto.
- Se validaron los datos estadísticos obtenidos durante el proceso de elaboración del proyecto, dando como conclusión el análisis, la verificación y la garantía de la culminación de cada proceso.
- Se construyó un cultivo de lechuga a pequeña escala que funciona como prototipo para la implementación del sistema de telemetría.
- Con el proceso de crecimiento del cultivo se identificaron varios procesos que permiten el mejor desempeño a la hora del cuidado y tratamiento en sí de cada planta a cultivar, además se debe tener presente que cada una de las semillas tiene un tratamiento especial, un sembrado diferente, además de una germinación y trasplante acorde a su evolución, crecimiento y tipo.

De acuerdo a lo observado mientras se realizaba el proyecto se generaron unas recomendaciones a tener en cuenta a la hora de retomar el proyecto para futuras innovaciones.

- Se debe tener en presente que los datos arrojados por cada sensor establecido dentro del proyecto solo se puede dimensionar a una escala reducida y si se proyecta a terrenos de grandes áreas este debe ser modificado de forma tal que la estructura de ciertos elementos sea soportada por otros componentes para la adquisición de datos en diversos puntos y el almacenamiento de los mismos.
- Se debe tener en cuenta que el uso líquidos tales como el agua puede generar cierto tipo de zancudos transmisores de enfermedades como la gripe, dengue, zika o chiconguña, por eso se debe tener una constante circulación constante del agua y evitar el florecimiento de hongos, algas o cualquier tipo de planta generada por la acumulación de líquidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GUERRERO, Carlos, MOLINA, Miguel, SOLARTE, Byron. Prototipo de cultivo hidropónico automático para producción de forraje verde. Tesis de tecnología, Universidad Mariana de San Juan, Pasto, 2013.
- [2] MARULANDA, Cesar H. Hidroponía familiar cultivo de esperanzas con rendimiento de paz. Programa de las naciones unidas para el desarrollo PNU. Universidad de la Gran Colombia, Seccional Armenia, 2003.
- [3] TORRES, Wilfredo, MALAVÉ, Kristel, MARQUIS, David. Aplicación de las Redes Inalámbricas de Sensores para implementar la Agricultura de Precisión en Viñedos. Proyecto de investigación aplicada, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela, 2012.
- [4] OSTOS, Carlos A., VANEGAS, Omar L. Diseño y construcción de un prototipo piloto para un sistema de supervisión y control semiautomático en la fertirrigación de claveles en cultivos hidropónicos. Tesis de pregrado, Universidad de la Salle, Bogotá D.C, 2008.
- [5] GONZALEZ, Fabián A., MOSQUERA, William A., USECHE, German D. Diseño de una red inalámbrica de sensores para apoyar actividades de agricultura de precisión en el jardín botánico de Cali. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente, departamento de automática y electrónica. Santiago de Cali, 2013.
- [6] VAZQUEZ, José A. Diseño de un sistema de riego aeropónico automatizado. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [7] GUTIERREZ, Oziel R., SANCHEZ, Moisés. Automatización de un sistema invernadero con hidroponía. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [8] AUST, María M. Agricultura urbana, análisis de los sistemas de producción de hortalizas sin suelo, Cultivos sin suelo – Parte 1: Hidroponía. Libro. Editorial Hemisferio Sur, 2010. Buenos Aires, Argentina. URL: <http://elfederal.com.ar/nota/revista/25104/cultivos-sin-suelo-parte-1-hidroponia>.

- [9] National Instruments. ¿Qué es una Red de Sensores Inalámbricos?. Nota técnica. 2009. URL: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>.
- [10] RC. Net. Telemetría. URL: <http://www.radiocomunicaciones.net/telemetria.html>.
- [11] Admón. Cultivos Hidropónicos. Historia y evolución de la hidroponía. Blog. 2009. URL: <http://cultivahidroponicamente.blogspot.com.co/2009/08/historia-y-evolucion-de-la-hidroponia.html>.
- [12] AGüERA, Juan, PEREZ, Manuel. Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. Web. URL: <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/AP.htm>.
- [13] HYDRO ENVIRONMENT. ¿Qué es la hidroponía?. Página Web. México. URL: http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=27.
- [14] GRUPO XAXENI S. DE R.L. DE C.V. ¿Qué es la solución nutritiva?. Página Web. México. URL: https://www.cosechandonatural.com.mx/que_es_la_solucion_nutritiva_articulo4.html.
- [15] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. ¿Qué es el pH?. Página Web. United States. 2012. URL: <http://www.epa.gov/acidrain/spanish/measure/ph.html>.
- [16] QUEES.INFO. ¿Qué es la temperatura?. Página Web. 2013. URL: <http://www.quees.info/que-es-la-temperatura.html>.
- [17] SOL.ARQ. Humedad ambiental. Derechos reservados. Página web. URL: <http://www.sol-arq.com/index.php/factores-ambientales/humedad>.
- [18] PANAMA HITEK. DHT 11: Sensor de humedad / temperatura para Arduino. Página web. URL: <http://panamahitek.com/dht11-sensor-de-humedadtemperatura-para-arduino/>.
- [19] MEDIDOR DE PH.COM. Funcionamiento, cuidado y calibrado del medidor de pH. Página web. URL:

<http://medidordeph.com/funcionamiento-cuidado-calibrado-medidor-de-ph>

[20] ELECTRONILAB. Sensor de distancia de ultrasonido HC – SR04. Página web. URL: <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>

[21] Pedro Rufo Martin. HTML. Página web. URL: <http://www.asptutor.com/zip/cbhtml.pdf>

[22] CURIOSOANDO. ¿Qué es una válvula solenoide?. Página web. URL: <https://curiosoando.com/que-es-una-valvula-solenoide>

[23] ELECTRONICA FACIL. El relé. Página web. URL: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/EI-rele.php>

[24] NETBEANS. Documentos y soporte. Página web. URL: <https://netbeans.org/kb/index.html>

[25] XAMPP. ¿Qué es xampp?. Página web, URL: <https://www.apachefriends.org/es/index.html>

[26] PRODUCTOS AGRI-NOVA SCIENCE. InfoAgro.com. Tipos de sustratos de cultivos. Página web. URL: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos2.htm

[27] HYDRO ENVIRONMENT. Tipos de sustratos para hidroponía. Página web. URL: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=32

[28] INFOJARDIN. Cultivo de lechuga. Tipos de plaga. Página web. URL: <http://articulos.infojardin.com/huerto/cultivo-lechuga-lechugas.htm>

[29] ARDUINO DE ALRO. Sensor PH de AtlasScientific Arduino. Página web. URL: <http://arubia45.blogspot.com.co/2013/01/sensor-ph-de-atlascientific-arduino.html>

[30] W3C. Guia breve de CCS. Página web. URL: <http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/HojasEstilo>

[31] Christian Van Der Henst S. ¿Qué es el PHP?. Página web. URL: <http://www.maestrosdelweb.com/phpintro/>

[32] Enríquez Toledo, Alma Maldonado Ayala, Jesús Nakamura, Ortega Yunko Nogueron, Toledo Goretty. MySQL. Página web. URL:
<http://www.gridmorelos.uaem.mx/~mcruz//cursos/miic/MySQL.pdf>

[33] Eduard Fumás Cases. APACHE. Página web. URL:
<http://www.ibrugor.com/blog/apache-http-server-que-es-como-funciona-y-para-que-sirve/>