



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SOFTWARE

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN SOFTWARE**

**TEMA: DESARROLLO DE UN SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL
PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN UN
CULTIVO HIDROPÓNICO**

**AUTORES: LÓPEZ HIDALGO, CHRYSTIAN ANDRÉS
SALAZAR HURTADO, JHONATAN STALIN**

DIRECTOR: ING. CARRILLO MEDINA, JOSE LUIS

LATACUNGA

2020



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SOFTWARE

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, “**DESARROLLO DE UN SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO**” realizado por los señores **LÓPEZ HIDALGO, CHRYSTIAN ANDRÉS, SALAZAR HURTADO, JHONATAN STALIN**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 de diciembre del 2019


Ing. Carrillo Medina, José Luis
C.C.: 0501553788



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SOFTWARE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **LÓPEZ HIDALGO, CHRYSTIAN ANDRÉS, SALAZAR HURTADO, JHONATAN STALIN**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO**” son de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 12 de diciembre del 2019



Chrystian Andrés López Hidalgo

C.C.: 1803330024



Jhonatan Stalin Salazar Hurtado

C.C.: 1003963020



AUTORIZACIÓN

Nosotros, **LÓPEZ HIDALGO, CHRYSTIAN ANDRÉS, SALAZAR HURTADO, JHONATAN STALIN**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 12 de diciembre del 2019



Chrystian Andrés López Hidalgo
C.C.: 1803330024



Jhonatan Stalin Salazar Hurtado
C.C.: 1003963020

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a todas las personas que caminaron a mi lado para llegar a este momento de mi vida donde se cumple una meta, especialmente a mi madre por su esfuerzo y sacrificio para brindarme lo mejor siempre, a mi novia por ser mi apoyo y fortaleza.

A mis hermanos por toda su confianza y cariño.

Andrés López

A mi madre, pilar fundamental para este día; amigos que se volvieron familia, profesores que se volvieron amigos, recuerdos que forman historias, historias que forman mi Ingeniería. Por esos días... por esos domingos...

Jhonatan Salazar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, quienes fueron mi guía y apoyo en todo momento.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas por contribuir a mi desarrollo personal y académico especialmente al director de tesis José Luis Carrillo por la paciencia, su gran actitud, su tiempo dedicados al proyecto.

A Sídney Galarza y a la empresa “Asis-Agro” por la información proporcionada, y la orientación ofrecida durante el desarrollo de este proyecto.

A Mariuxi Rodríguez, por exigirme más de mi cada día, por su comprensión, su gran paciencia e infinito amor.

Andrés López

A mi madre Luz Hurtado y a mis hermanos Omar y Amílcar Salazar por brindarme esta oportunidad.

Jhonatan Salazar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento y Formulación del Problema	8
1.3. Justificación e Importancia.....	12
1.3.1. Objetivo General.....	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
1.4. Meta.....	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción del capítulo	14
2.1.1. Antecedentes Investigativos	14
2.2. Fundamentación Teórica	16
2.2.1. Hidroponía	16

a.	Cultivo Hidropónico.....	16
b.	Cultivos en sustrato con solución nutritiva.....	21
c.	Factores que influyen en los cultivos hidropónicos.....	23
d.	Fresa hidropónica.....	33
e.	Los indicadores de calidad de la fresa.....	35
2.2.2.	Software.....	36
2.2.3.	Las metodologías y estándares.....	36
2.2.4.	Lógica difusa.....	40
2.2.5.	Hardware.....	47
2.3.	Fundamentación Legal.....	51
2.4.	Sistema de Variables.....	54
2.4.1.	Definición Nominal.....	54
2.4.2.	Definición Conceptual.....	54
2.4.3.	Definición Operacional.....	55
2.5.	Hipótesis.....	55

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO

3.1.	Introducción del capítulo.....	56
3.2.	Descripción general del sistema.....	56
3.2.1.	Requerimientos Funcionales.....	57
3.2.2.	Requerimientos No Funcionales.....	58
3.2.3.	Diagrama de casos de uso.....	58
a.	Caso de Uso General.....	58
b.	Casos de Uso Específicos.....	59
3.2.4.	Diseño de la base de datos.....	62
a.	Diagrama de clases.....	62
b.	Diagrama de secuencia.....	63
3.2.5.	Diseño de la interfaz de usuario.....	66

3.2.6. Arquitectura del modelo	73
3.2.7. Construcción Sistema difuso	74
a. Creación de las funciones de membresía.....	75
b. Creación de reglas difusas	82
c. Salida difusa	82
3.2.8. Pruebas unitarias.....	89

CAPÍTULO IV

VALIDACIÓN DEL SISTEMA SOFTWARE CONTROL

4.1. Introducción del capítulo	92
4.1.1. Validación de indicadores de calidad de la fresa	92
4.1.2. Validación comparación entre sistemas hidropónicos	96
4.1.3. Entrega y recepción	97
4.1.4. Validación y aceptación	99

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	100
5.2. Recomendaciones	101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
---	------------

ANEXOS	119
---------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Posibles soluciones nutritivas</i>	26
Tabla 2. <i>Solubilidad y fertilizantes más utilizados</i>	28
Tabla 3. <i>Partes por millón (ppm) de los elementos mayores y menores</i>	33
Tabla 4. <i>Definición nominal</i>	54
Tabla 5. <i>Definición conceptual</i>	54
Tabla 6. <i>Definición operacional</i>	55
Tabla 7. <i>Caso de uso específico: Adquisición de datos</i>	59
Tabla 8. <i>Caso de Uso: Procesamiento de datos</i>	60
Tabla 9. <i>Caso de Uso: Cálculo de solución nutritiva</i>	61
Tabla 10. <i>Rangos de la función de membresía (temperatura)</i>	76
Tabla 11. <i>Rangos de la función de membresía (humedad)</i>	77
Tabla 12. <i>Rangos de la función de membresía (pH)</i>	79
Tabla 13. <i>Rangos de la función de membresía (conductividad eléctrica)</i>	81
Tabla 14. <i>Concentración de nutrientes</i>	85
Tabla 15. <i>Fertilizantes</i>	86
Tabla 16. <i>Solución nutritiva</i>	87
Tabla 17. <i>Aporte de nutrientes</i>	87
Tabla 18. <i>Cantidad de solución nutritiva</i>	88
Tabla 19. <i>Check-List para pruebas funcionales</i>	89
Tabla 20. <i>Cantidad Solución Nutritiva</i>	93
Tabla 21. <i>Indicadores de la fresa</i>	95
Tabla 22. <i>Comparativo entre técnicas hidropónicas</i>	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnicas Hidropónicas	18
Figura 2. Técnica de raíz flotante	19
Figura 3. Técnica de Película de Nutrientes	19
Figura 4. Aeroponía	20
Figura 5. Técnica hidropónica de mecha	21
Figura 6. Técnica de goteo con o sin recuperación de solución nutritiva.....	22
Figura 7. Técnica de inundación y drenaje (Ebb and Flow)	23
Figura 8. Rango del pH.....	30
Figura 9. Canaletas para la producción de fresa, con sustrato.....	35
Figura 10. Flujos de Trabajo	38
Figura 11. Sistema basado en lógica difusa	41
Figura 12. Ejemplo de representación de conjuntos clásicos (izquierda) a conjuntos difusos (derecha).....	44
Figura 13. Función trapezoidal	45
Figura 14. Función Triangular.....	45
Figura 15. Arquitectura General del Sistema Difuso	46
Figura 16. Estructura General del Modelo	46
Figura 17. Raspberry Pi 3.....	47
Figura 18. Sensor pH.....	47
Figura 19. Sensor de humedad	48
Figura 20. Sensor de conductividad eléctrica	49
Figura 21. Sensor de temperatura	50
Figura 22. Descripción general del sistema	57
Figura 23. Caso de uso general.....	58
Figura 24. Caso de uso específico: adquisición de datos	60
Figura 25. Caso de Uso: Procesamiento de datos	61
Figura 26. Caso de Uso: Cálculo de solución nutritiva	62
Figura 27. Diagrama de clases	63

Figura 28. Adquisición de datos.....	63
Figura 29. Procesamiento de datos	64
Figura 30. Cálculo de solución nutritiva	65
Figura 31. Panel de control.....	66
Figura 32. Cálculo de solución nutritiva	67
Figura 33. Monitoreo y control	69
Figura 34. Monitoreo Remoto	70
Figura 35. Soluciones	71
Figura 36. Notificaciones	72
Figura 37. Arquitectura General del Sistema Difuso	73
Figura 38. Modelo del sistema difuso. (1) Estado sensores – Entrada del sistema difuso, (2) Sistema difuso, (3) Cálculo solución nutritiva, (4) Resolución	74
Figura 39. Estructura General del Modelo	75
Figura 40. Funciones de Membresía Temperatura.....	77
Figura 41. Funciones de Membresía Humedad.....	78
Figura 42. Funciones de Membresía pH.....	80
Figura 43. Funciones de membresía conductividad eléctrica	81
Figura 44. Variaciones de Temperatura	83
Figura 45. Variaciones de humedad	83
Figura 46. Variaciones de pH	84
Figura 47. Función de membresía agregada	84
Figura 48. Solución Nutritiva generada presentada al usuario	89
Figura 49. Estructura y distribución hidropónica	93
Figura 50. Cantidad Solución Nutritiva (mg/L)	94
Figura 51. Muestras del cultivo de fresa	95
Figura 52. Acta entrega – recepción.....	98
Figura 53. Acta validación y aceptación	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Nitrógeno	27
Ecuación 2. Fósforo.....	27
Ecuación 3. Potasio.....	27
Ecuación 4. Calcio.....	27
Ecuación 5. Magnesio	27
Ecuación 6. Azufre	27
Ecuación 7. Cálculo de soluciones nutritivas.....	28
Ecuación 8. Temperatura	76
Ecuación 9. Humedad	78
Ecuación 10. pH	80
Ecuación 11. Conductividad Eléctrica	81
Ecuación 12. Cálculo de salida de los nutrientes	85
Ecuación 13. Cálculo de ejemplo	87

RESUMEN

El cultivo hidropónico dentro de la agricultura cobra importancia por los beneficios que este aporta tanto al sector agrícola, como a la salud de la población que consume este tipo de alimentos, bajo este contexto se desarrolló el proyecto de investigación sistema software de control, para la optimización del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico dentro de la empresa “Asis-Agro” del cantón Salcedo. El proyecto surge de la necesidad de la empresa de poseer una herramienta software que contribuya, apoye y optimice el balance de la solución nutritiva dentro de un cultivo de fresa bajo la técnica de hidroponía, como solución a dicha necesidad se desarrolló e implementó un sistema difuso, que realiza el control de las variables físicas y ambientales más importantes involucradas en el crecimiento y manejo de nutrientes del cultivo de fresa. Se realizaron pruebas para valorar el comportamiento de cada solución nutritiva y validar la calidad del cultivo de fresa. El resultado demuestra que al utilizar un sistema de control eleva la productividad, disminuye el tiempo de desarrollo del cultivo y mejora el producto. Finalmente, el sistema fue validado por expertos agrónomos que determinaron que la fresa posee buena apariencia, buena firmeza, un agradable sabor y un adecuado valor nutritivo.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA DIFUSO**
- **CULTIVOS HIDROPÓNICOS**
- **SOFTWARE DE CONTROL AGRÍCOLA**

ABSTRACT

The hydroponic cultivation within the agriculture becomes important for the benefits that this contributes so much to the agricultural sector, like to the health of the population that consumes this type of food, under this context the project of investigation was developed software system of control, for the optimization of the fluid of nutrients in a hydroponic cultivation within the company "Asis-Agro" of the canton Salcedo. The project emerge from the need of the company to have a software tool that contributes, supports and optimizes the balance of the nutritive solution within a strawberry crop under the technique of hydroponics. As a solution to this need, a diffuse system was developed and implemented, which performs the control of the most important physical and environmental variables involved in the growth and management of nutrients in the strawberry crop. Tests were conducted to assess the behavior of each nutrient solution and validate the quality of the strawberry crop. The result shows that using a control system increases productivity, decreases the time of development of the crop and improves the product. Finally, the system was validated by expert agronomists who determined that the strawberry has good appearance, good firmness, a pleasant taste and adequate nutritional value.

KEYWORDS:

- **DIFFUSIVE SYSTEM**
- **HYDROPONIC CROPS**
- **FARM CONTROL SOFTWARE**

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el Ecuador la agricultura es una de las principales actividades económicas, pero solo el 11% de la tierra tiene cultivos permanentes y el 18% se ocupa en pasto permanente. La agricultura representa la base para garantizar el derecho humano a una alimentación sana y adecuada, en la actualidad existe una creciente demanda de productos agrícolas orientadas a la satisfacción de las necesidades de la población por lo que este sector enfrenta un desafío complejo en relación con la producción de alimentos de calidad (FAO, 2017).

Según las estadísticas que emplea la “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura” FAO sus siglas en inglés Food and Agriculture Organization., revelan que 2570 millones de personas dependen de la agricultura, para garantizar los medios de vida y la seguridad alimentaria. Al 2050 se espera que la población mundial crezca hasta 9700 millones de personas, las cuales dependerán de los alimentos (agricultura) para su subsistencia, para este año la demanda de alimentos crecerá exponencialmente empeorando la competencia por los recursos naturales especialmente el agua, la contaminación ambiental y la degradación del suelo (FAO, 2016). Actualmente, el aporte más significativo de la agricultura es para más de 850 millones de personas subnutridas que solo cuentan con un acceso seguro a los alimentos si los producen ellos mismo (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura, 2018). En vista de las tendencias mundiales del futuro de la agricultura se busca formas sostenibles para satisfacer la demanda de alimentos mediante grandes transformaciones en los sistemas agrícolas.

La industrialización de la agricultura se ha dado a conocer con el nombre de “agroindustria¹”, los estudios de sistemas agrícolas documentan la historia del control del agua, formas de organización sociopolítica, la tecnología de riego, el mercado, el mejoramiento de las plantas, y la intensificación del uso del suelo y los tipos de asentamientos humanos (Pérez J. , 2013). En este sentido, Rojas (2017) manifiesta que las transformaciones en los sistemas agrícolas han mejorado con el tiempo, modificando su producción a través de la selección de plantas, métodos de cultivos, uso de pesticidas y avances tecnológicos (pp. 48-53).

La selección de plantas mantiene la variación genética esencial para la evolución y adaptación continua de los genotipos vegetales (Saavedra , 2013). Dentro de los métodos de cultivos se encuentran maquinaria agrícola moderna, invernaderos controlados, técnicas de cultivos, suelos con fértiles entre otros con el fin de aumentar la producción, tener una cosecha de calidad, sin causar daños ambientales. El uso de pesticidas, herbicidas, insecticidas y fungicidas; hacen a los cultivos más resistentes, otorgando al agricultor un control de plagas animales y vegetales.

Los avances tecnológicos de la agricultura inicia con las máquinas agrícolas que son ampliamente utilizadas en la agricultura, destacando porque están ahorrando tiempo y esfuerzo, pasando por las modernas cosechadoras que permiten una producción a gran escala reduciendo al máximo la mano de obra humana, no obstante las actuales tecnologías de información y comunicación han cambiado ampliamente la forma de controlar los cultivos, así se tiene el sistema de monitoreo remoto, con el propósito de mejorar la administración y control de la producción de alimentos relacionados con la irrigación de manera remota y práctica, basándose en el desarrollo de software, con una programación fácil, objetiva e intuitiva, implementando el uso de sensores, obteniendo los valores de parámetros o variables utilizados. Reduciendo al mínimo la presión sobre el medio ambiente y mejorando la productividad (Pérez F. , 2016). Dentro de estas

¹ La agroindustria es un concepto que se ha ido modificando con el tiempo, en su concepción genérica constituye el aprovechamiento de las materias primas producidas por la actividad agrícola para ser transformadas en productos terminados de consumo humano o animal, con fines de industrialización.

tecnologías encontramos sistemas como la acuaponía, la hidroponía, la aeroponía, entre otros (Ramírez , 2015)

La investigación realizada por Ossa (2017) relacionada con Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos, la cual describe el diseño de una plataforma de monitoreo remoto y control de variables ambientales para agricultura de precisión, flexible y de bajo costo. Para la construcción de dicha plataforma se emplearon tecnologías con redes inalámbricas de sensores, basadas en protocolo de comunicación Zigbee, utilizando sistema embebido Arduino, mediante software y hardware libre. La red está compuesta por un nodo central (coordinador) y dos nodos donde se encuentran conectados los sensores para las lecturas de las variables medioambientales y estas se exhiben en un entorno gráfico. Finalmente, los datos son subidos a la nube para que el usuario pueda acceder a la información en tiempo real desde cualquier lugar. Con la implementación del sistema de riego y ventilación controlado automáticamente, se aumenta el ahorro de agua y energía para minimizar el daño ambiental, de esta manera se previene el deterioro de los cultivos, se tiene un mejor control del agua buscando incentivar el uso eficiente y ahorro de los mismos (Ossa, 2017).

La tecnología hidropónica representa el cultivo de plantas sin tierra, resulta un sistema eficiente y sostenible para el cuidado de las plantas, sobre todo en las grandes ciudades, este utiliza agua con sales minerales disueltas, optimiza el agua, los nutrientes y el espacio con la finalidad de incrementar la producción del cultivo (CITYSENS, 2016). Los cultivos hidropónicos nacen en Egipto hace más de 5000 años (HydroEnviroment, 2016). Mediante esquemas rústicos, también se puede encontrar este tipo de cultivos en los Jardines Colgantes de Babilonia antes de la era cristiana según Santander Parra (2014), existen tipos de cultivos hidropónicos como el vertical que es un método para cultivar dentro de casa o en un ambiente altamente controlado, cerrado y simulado, se cultivan de manera eficiente en términos de espacio y a través de bandejas apiladas (Groho, 2017) y, el método horizontal donde se ubican canales o mangas sobre el

terreno, en la base de paredes o colgadas sobre éstas a alturas considerables (Rody, 2019), este tipo de tecnología se desarrolla en varios países del mundo.

La producción hidropónica se desarrolla en varios países, tales como: Argentina, Uruguay, Panamá, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Venezuela, España, Australia, Canadá, Nueva Zelanda, Colombia y Brasil; países que están desarrollando infraestructura avanzada para esta actividad con resultados favorables enmarcadas en la reducción del tiempo de desarrollo del cultivo y aumento en la producción (Pérez F. , 2016). En la actualidad en los Estados Unidos según la Confederación Europea de Agricultura (CEA), proliferan los invernaderos con ambiente controlado en donde se caracteriza por la producción hidropónica en grandes hectáreas, instituciones como la Universidad de Arizona Tucson, la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, más conocida como NASA² (por sus siglas en inglés, National Aeronautics and Space Administration), y otras empresas contratadas, en los últimos 20 años, se dedicaron a la investigación orientada a la producción de plantas como principal forma de obtener alimentos ya que se vuelve vital, para las futuras exploraciones espaciales (Web2feel, 2014), los mismos que son comercializados ampliamente.

La comercialización de hortalizas y flores hidropónicas en los países europeos se potencializó en la época de los 70 (Martínez & García , 1993) y Según Nelson (1991), en los Estados Unidos y en Europa la concentración de soluciones nutritivas tuvo un rol importante con la aplicación de diferentes sistemas de monitoreo y control (Pérez F. , 2016).

La hidroponía llega a Latinoamérica a nivel experimental en la década de los años 70's y se ha desarrollado hasta convertirse en uno de los factores más importantes en el avance de la actividad agroindustrial en países como Colombia, Chile y Venezuela. En el año de 1993 se da a conocer esta innovación en El Salvador y Centroamérica por manos de ingenieros agrónomos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

² es la agencia del gobierno estadounidense responsable del programa espacial civil, así como de la investigación aeronáutica y aeroespacial.

(PNUD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), como: “Hidroponía Popular”. En el año 2007 se inicia una investigación por parte de la Universidad Dr. José Matías Delgado acerca del “Estudio de Pre-factibilidad para la Producción y Comercialización del Cultivo Hidropónico del Chile Dulce en el Municipio de Apastepeque, San Vicente.” en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) se realizan investigaciones acerca del cultivo de Papa en un ambiente hidropónico, debido a que las condiciones del riego y clima pueden mejorar la calidad del producto, a pesar de que el cultivo no sea adecuado para hidroponía, como es el caso de la Papa siendo tubérculo. A pesar de esto, la primera cosecha de papas se recogió en octubre del 2015 (Caldeyro, Cajamarca, & Erazo, 2015). En la actualidad en Latinoamérica se destaca la Agricultura Protegida se refiere a toda aquella actividad que intenta modificar los factores ambientales (Luz, viento, humedad relativa, precipitación, suelo, temperaturas entre otros), en los que crece un cultivo, con la finalidad de brindarle a la planta las mejores condiciones para su crecimiento, es entonces una alternativa para producir alimentos en mayor cantidad y calidad. La Agricultura Protegida emplea elementos como el uso de invernaderos e hidroponía como una opción viable para incrementar la productividad (Hernández, 2019).

En el Ecuador la agricultura representa un papel crucial en la economía del país, durante años se caracterizó por ser exportador de cacao, banano, fresa, flores, café, papa, entre otros a nivel mundial, el sector agrícola ha pasado por grandes desafíos: como una matriz primaria exportadora, la variación constante de precios, a esto se suma las cambiantes condiciones climáticas y la demanda mundial por productos, por esto, surge la tendencia a la búsqueda de nuevas tecnologías de cultivos (Ortíz, 2018), dentro de esta tendencia se tienen los cultivos hidropónicos como fuente de producción y alimentación en nuestro país.

En los años noventa se inserta esta tecnología en el Ecuador utilizando cascajo, arena, cáscara de coco y arroz, se inició con la siembra de la lechuga, el tomate y la fresa, las razones por las que se aplica este sistema es porque los suelos han perdido su fertilidad, debido a la presencia de elementos tóxicos para la planta en el suelo, presencia

de patógenos en el suelo que disminuyen la calidad de los productos agrícolas incidiendo estos en la salud de la población. Mientras que, los cultivos hidropónicos elevan sus componentes nutricionales de los mismos, su costo de producción es bajo y con un alto nivel sanitario (Cajo, 2016). Esta no ha sido explotada en su totalidad, sin embargo en los supermercados ha incrementado el consumo de alimentos orgánicos en los relacionados con frutas y hortalizas, para dar abastecimiento a esta demanda se necesita un crecimiento rápido de estos cultivos, por esta razón surge la necesidad de implementación de invernaderos bajo la utilización de esta técnica, sea en la modalidad horizontal o vertical (Rubio, 2017).

Dentro de la producción agrícola de la sierra ecuatoriana los principales centros de producción de quinua, papa, fresa, trigo, cebada, zanahoria, café, caña de azúcar, cebolla, flores, habas, maíz suave, se encuentran en las provincias de provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Cañar (Pacheco, 2019). Según información del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) de los resultados obtenidos en la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) del año 2015, los principales cultivos de Cotopaxi y específicamente del Cantón Salcedo en función de su superficie sembrada, cosechada y de producción son los siguientes: maíz suave seco, cacao, caña de azúcar, maíz suave choclo, papa, cebada, plátano, banano, maíz duro seco, trigo, cebollas, melloco, ajo, fresa y naranja (GAD Municipal de Cotopaxi, 2015).

Los productores del Cantón Salcedo de la zona de Rumipamba, en la actualidad se dedican al cultivo de fresa bajo el sistema de cultivos hidropónicos, con la finalidad de optimizar sus recursos, sin la necesidad de utilizar grandes extensiones de tierra. Dentro de las dificultades que presentan estas personas es el desconocimiento para el manejo adecuado de los cultivos hidropónicos; además estos no cuentan con la tecnología necesaria para el control de fluidos de nutrientes que contribuya al desarrollo de productos de calidad. (Hirzel, 2015).

La empresa “Asis – Agro” ubicada en el cantón Salcedo, desde el 2002, inició con una propuesta técnica de vanguardia, para mejorar la calidad de vida de los agricultores a través de un adecuado manejo de sus cultivos, combinando el intercambio de experiencias y convirtiéndose en el punto de convergencia de varios actores del sector agrícola.

Visión. Los esfuerzos de la empresa se orientan siempre a brindar alternativas innovadoras y estratégicas para el manejo de los cultivos, apegados a la demanda de mercado.

Misión. Asis-Agro se caracteriza por el emprendimiento nato de sus fundadores y socios, quienes basan su trabajo en el desarrollo de las capacidades de agricultores en toda la provincia de Cotopaxi.

En “Asis-Agro” se tiende a incursionar en nuevas tecnologías para la producción del cultivo de fresa a través de la hidroponía, esto se realiza debido a que son sistemas que hacen posible la agricultura de precisión, con el menor uso de recursos y bajo condiciones controladas, sin el uso de tierra; siendo menos propensos a la aplicación de pesticidas y herbicidas, contribuyendo a la obtención de un producto de mejor calidad en el menor tiempo posible.

La empresa “Asis-Agro” cuenta con un cultivo de fresa tradicional el cual cubre el área de 1000 metros cuadrados, el método de cultivo de la fresa es por medio de hidroponía, al ser un cultivo tradicional se utilizan materiales como: tabla, alambre, plástico, goteros, válvulas, grapas, mangueras, sustratos y fertilizantes; aproximadamente 4 dólares por metro cuadrado en infraestructura. El cultivo hidropónico de fresa está formado con soportes de 1 m. de largo y 0.85 m. de alto, cada soporte está separado por 0.60 m. y están compuestos por tres canales también llamadas parcelas, donde se encuentra el sustrato el cual ayuda a retención de agua con solución nutritiva, la cantidad de sustrato utilizado dentro del cultivo es cascarilla de arroz 40% + pomina o piedra pómez 20% + Fibra de coco 40%, la aplicación de solución nutritiva en el cultivo hidropónico se la realiza de forma manual de manera que no existe un control óptimo del

cultivo de fresa. Dentro de los 1000 metros cuadrados se encuentran 20000 plantas de fresa las cuales están separadas dentro de las parcelas a una distancia de 20 cm una planta de otra, la empresa genera 43.73 gramos de producción por planta de fresa cada 5 meses.

1.2. Planteamiento y Formulación del Problema

En el Ecuador la incursión de cultivos hidropónicos en el sector urbano aún tiene algunos problemas al momento de realizar el riego, ya que es necesario realizarlo varias veces al día por un tiempo determinado y los sistemas actuales solo cuentan con temporizadores en el mejor de los casos. Otro factor a tomar en cuenta en los cultivos hidropónicos es la mezcla del agua con la solución nutritiva, ya que es necesario tener un buen balance para mejorar su crecimiento, en los sistemas actuales se lo realiza de manera manual existiendo así fallos en la mezcla, lo que repercute en el crecimiento de la planta. El último factor importante que se debe tener en cuenta es la temperatura, en la que se encuentran dichos sistemas, ya que esto influye de gran manera en su crecimiento.

Existen diferentes formas de realizar el cultivo de la fresa, como es la agricultura tradicional³, industrial⁴, ecológica⁵, natural⁶, de regadío o riego⁷ (Larrazabal, 2019). En la provincia de Cotopaxi han proliferado los cultivos hidropónicos. Considerado como un sistema de siembra caracterizado por la eliminación de la tierra en la plantación, en su lugar el aporte de minerales se realiza a través del agua de riego y el sustrato utilizado

³ Se la define como las prácticas agropecuarias basadas en conocimientos y prácticas indígenas, que han sido desarrolladas por consecuencia de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales autóctonos a través de las generaciones.

⁴ Hace referencia a un tipo de producción agropecuaria industrializada moderna

⁵ Se basa en un sistema de cultivo de una explotación agrícola autónoma, que aprovecha los recursos naturales sin utilizar productos químicos de síntesis y en la no utilización de organismos genéticamente modificados.

⁶ Es el cultivo natural de la tierra o el conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo natural de la tierra.

⁷ Consiste en el suministro de las necesarias cantidades de agua a los cultivos mediante diversos métodos artificiales de riego

para la plantación se puede componer de materiales orgánicos e inorgánicos (Deere, 2016).

En la actualidad existen sistemas automatizados que permiten por medio de la tecnología realizar un rápido y oportuno análisis de la situación de los cultivos, algunos de estos sistemas utilizan inteligencia artificial para la toma de decisiones en relación de temperatura, agua, nutrientes, entre otros elementos.

En la provincia de Cotopaxi se realiza una producción agrícola centrada en el maíz suave seco, cacao, caña de azúcar, maíz suave choclo, papa, cebada, plátano, banano, maíz duro seco, trigo, cebollas, melloco, ajo, fresa y naranja (GAD Municipal de Cotopaxi, 2015); en el cantón Salcedo en el sector La Cangagua, Barrio Forastero, a una altitud de 2780 metros sobre el nivel del mar se dedicada específicamente a la agricultura con producción de: papa, maíz, haba, alfalfa, tomate de riñón y de árbol; y con la incursión de cultivos alternativos e intensivos como es la fresa; el clima se clasifica como cálido y templado, La temperatura promedio en Salcedo es 13.4 ° C., con una humedad que varía entre el 10 a 50% de promedio, la extensión de la propiedad donde se desarrolla el proyecto de cultivos hidropónicos de fresa es de una hectárea.

La sobre explotación de suelos y el uso excesivo de químicos que se utilizan en los cultivos de tierra para mejorar la producción y obtener productos de mayor tamaño en menor tiempo, ha llevado al ser humano a buscar una nueva manera de realizar cultivos amigables con el medio ambiente, sana, pero sobre todo que ahorre espacio y sea posible implementarla casi en cualquier lugar.

El desequilibrio nutricional o el exceso de nutrientes se relacionan con el desarrollo de efectos negativos que repercuten en la vida y productividad de las plantas. Las causas de estos desequilibrios nutricionales pueden identificarse como: bajo nivel de nutrientes, nutrientes no disponibles, exceso de nutrientes y toxicidad.

Los problemas que conlleva a los agricultores de “Asis-Agro” a utilizar el cultivo hidropónico es la pérdida de nutrientes de la tierra, la presencia de plagas (mosquito),

nematos, hongos, que manualmente es más difícil su eliminación así como la baja producción de la fresa y su elevado costo de producción, otro elemento importante es la presencia de enfermedades en el suelo debido a la elevación de los umbrales económicos⁸; deficiente mano de obra; costo de la tierra, y la realización de todo el trabajo agrícola de manera empírica y manual.

Respecto al balance nutricional del cultivo de fresa dentro de la empresa “Asis-Agro”, maneja una aplicación de nutrientes tradicional, lo que conlleva a la falta o exceso de nutrientes dentro del cultivo. Ya que las condiciones del cultivo varían en torno a variables como: la temperatura, humedad, potencial hidrogeno y electro-conductividad; resulta complicado un equilibrio nutricional y un producto de calidad.

En vista de los problemas que presenta el invernadero del sector de estudio se plantea este proyecto como un sistema software para controlar continuamente la fluctuación de nutrientes dentro del cultivo hidropónico de la fresa para los productores de la empresa “Asis-Agro”. Para el desarrollo de este sistema software de control se utilizó la lógica difusa siendo una rama de la inteligencia artificial, con elementos de hardware como una placa de ordenador reducida Raspberry Pi3, y sensores de EC (Electro conductividad), PH (Potencial de Hidrogeno), temperatura y humedad; compatibles con la misma, estos receptorán los datos en tiempo real y se los almacenara dentro de una base de datos, mismos que serán utilizados dentro de una aplicación web que validará y condicionará los datos dentro del algoritmo de la lógica difusa para posteriormente optimizar la cantidad de solución nutritiva a utilizar dentro del cultivo.

El agrónomo proporciona el conocimiento sobre soluciones nutritivas que las plantas de fresa requieren junto con su aporte nutricional, el experto Ing. Sidney Galarza con más de 5 años de experiencia proporciona los rangos de las variables óptimas para el cultivo y los nutrientes necesarios para el equilibrio nutricional, siendo esta información parte fundamental para el desarrollo del sistema.

⁸ El umbral económico indica el grado de infestación por una plaga en el cual los costos de una medida de control son equivalentes al valor monetario de la pérdida de cosecha que esa medida evita.

Por otra parte, el personal encargado de la nutrición y control de las soluciones nutritivas en la empresa “Asis-Agro”, tendrá la opción visualizar la solución nutritiva generada por el sistema; de tal manera que el sistema difuso mantendrá en control efectivo del cultivo de fresa.

Una posible metodología de automatización e informatización, aplicada al cultivo hidropónico de la fresa en la empresa “Asis-Agro”, donde la lógica difusa permitirá:

1. Control de solución nutritiva dentro del cultivo hidropónico
2. Los sensores que emitirán datos para la adquisición, procesamiento, condicionamiento y posterior conclusión dentro del algoritmo de la lógica difusa.
3. La interface que mostrara la cantidad de solución nutritiva aplicada, el monitoreo y control de los sensores; y el envío de notificaciones al usuario
4. Toma de decisiones en el cálculo de la solución nutritiva.

Basados en la experiencia del experto mediante el desarrollo de un sistema, el cual permite comparar los resultados del cultivo hidropónico de fresa en forma manual con el automatizado. Este sistema calculará las proporciones más adecuadas de soluciones nutritivas, para posteriormente enviar una notificación de alerta al usuario, y tomar la medida correspondiente para el control del cultivo. Buscando alcanzar el adecuado potencial genético de la fresa y tener un control de los datos que indican el estado del cultivo.

En base a los referentes planteados la interrogante a resolver en esta investigación es:

¿De qué manera mejorar el control de fluido de nutrientes de los cultivos hidropónicos de fresa en la zona del Cantón Salcedo, sector La Cangagua, empresa “Asis-Agro” con la implementación de un sistema software de control?

1.3. Justificación e Importancia

La empresa “Asis-Agro” se dedica al cultivo de fresa dentro del cantón Salcedo, cuenta con un invernadero adecuado con un sistema de cultivo hidropónico empírico. La empresa no dispone de recursos tecnológicos, debido al costo y desconocimiento de su utilidad y/o aplicación, esto provoca un desbalance en la preparación de las soluciones nutritivas dentro de los cultivos, lo que provoca daños en el cultivo, deficiencia nutricional, una mala producción y daño al medio ambiente.

Metodológicamente resulta mucho más eficiente el cultivo hidropónico, que cultivar en suelo, por su velocidad de producción y su rendimiento productivo por área laborada.

Económicamente el proyecto es importante porque minimiza los gastos en relación con el uso de espacio al no tener que utilizar tierra y reutiliza el agua, lo que representa un ahorro significativo en agua y nutrientes de hasta el 50% en comparación con el riego convencional, se optimiza el uso de nutrientes y fertilizantes contribuyendo al Incremento de la producción pues las plantas crecen mucho más rápido sin ningún producto artificial. Otro elemento importante es que la producción se ve menos expuesta a la pérdida de producciones causadas por una mala nutrición, o inclemencias climáticas.

Socialmente es importante debido a que el proyecto incentivará a cuidar el medio ambiente, contribuyendo con la calidad del producto y disminuyendo con el tiempo problemas derivados de una mala aplicación del fluido de nutrientes, benefician a la salud de la población debido a que reduce la cantidad de pesticidas y químicos.

Desde el punto de vista técnico, los beneficios que se obtienen con la aplicación del software para el control de fluidos en los cultivos hidropónicos se orientan al control de los nutrientes, así como a la absorción correcta y a mayor velocidad, lo que incidirá en el crecimiento de la fresa y el aumento de la producción de la misma.

Este tipo de cultivo contribuirá, a aumentar la producción de la fresa con mejor calidad de sus nutrientes sin la utilización de abonos, en consecuencia, favorece a la salud de la población y contribuye a disminuir el nivel de contaminación del medio ambiente.

Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Desarrollar un sistema software de control para la optimización del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Fundamentar el marco teórico vinculado a los cultivos hidropónicos y soluciones nutritivas.
- Determinar los requerimientos para el desarrollo de un sistema de control mediante lógica difusa.
- Elaborar un sistema de control para la optimización de fluidos de nutrientes en un cultivo hidropónico.
- Aplicar la propuesta en la empresa agrícola “Asis-Agro” cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi.
- Validar el funcionamiento del sistema software de control para la optimización de fluidos de nutrientes en un cultivo hidropónico,

1.4. Meta

Desarrollo de un sistema software de control para la optimización del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción del capítulo

2.1.1. Antecedentes Investigativos

Como antecedentes de investigación se tienen aquellos trabajos relacionados con el control de soluciones nutritivas acerca del cultivo hidropónico de la fresa, que se encuentran en los repositorios bibliográficos a nivel nacional e internacional, relacionados con el tema a desarrollarse:

La investigación realizada por Billy Antonio León Rojas (2017), sobre el “Diseño de un sistema de monitoreo y control de Ph de nutrientes para un prototipo de cultivo hidropónico usando PLCs y software Scada”, en donde hace mención acerca de la importancia de la aplicación de novedosas técnicas agrícolas como la hidroponía que al ser soportadas por la tecnología ofrecerían el sostenimiento alimentario mundial del futuro, el desarrollo socioeconómico y la conservación del ecosistema. Este trabajo de investigación se centra en el diseño de un sistema de monitoreo y control del pH de nutrientes minerales para un prototipo de cultivo hidropónico re-circulante usando PLCs y software Scada. Por un lado, con el control del pH se puede optimizar la calidad del producto pues se entrega a la planta los nutrientes minerales necesarios para su eficiente crecimiento. El sistema re-circulante de los nutrientes obtiene un menor consumo de agua y mayor oxigenación de las raíces de las plantas (León , Billy, 2017).

Por otro lado, el monitoreo remoto permite obtener datos de los procesos en tiempo real:

1. Un mejor análisis del comportamiento de la planta durante su crecimiento.
2. Información histórica del estado de la planta.

3. Notificaciones instantáneas mediante alarmas.
4. Mejor toma de decisiones ante fallas y completo control del proceso desde un centro de supervisión.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guillermo Vinicio Tello Cano (2014), realiza su investigación enfocada en la “Evaluación de cultivo hidropónico versus fertirriego en tomate (*Lycopersicon esculentum*)⁹, bajo condiciones de invernadero en Cuyotenango, Suchitepéquez”, se desarrolla en el ámbito de la horticultura protegida y específicamente en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*), en donde se planteó como objetivos: “Establecer mediante un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas; el efecto de dos sistemas de cultivo (Fertirriego en Tierra e hidroponía con sustratos inertes), combinados con tres soluciones nutritivas (a.- Proporcionada por la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo y la Alimentación FAO; b.-la proporcionada por la Universidad Agraria La Molina del Perú y, c.- la proporcionada por el Instituto Nacional de Aprendizaje de Costa Rica) sobre la variable principal rendimiento de tomate en Kg/Ha, bajo condiciones de invernadero”.

En relación a las soluciones nutritivas evaluadas (FAO, La Molina, INA), se tiene que estadísticamente no existieron diferencias significativas en el efecto provocado por ellas sobre las variables, tampoco se reportó ninguna interacción entre solución nutritiva y sistema de cultivo, como se muestra en el anexo 1. Para el efecto se monitorearon las variables altura y diámetro de fruto, estableciéndose que para la variable altura los tomates bajo condiciones de hidroponía son mayores que los reportados en condiciones de fertirriego, con medias generales de 7.64 cm y 6.90 cm, respectivamente, en cuanto a uniformidad y en base a medidas como la desviación estándar y el coeficiente de variación son muy similares para los dos sistemas de cultivo bajo estudio. Para la variable diámetro de frutos podemos observar que las medias generales reportadas son de 5.0092 cm y 5.0050 cm para los sistemas de hidroponía y fertirriego respectivamente, aunque

⁹ es el nombre botánico de esta especie perteneciente a la familia Solanaceae y es conocida de forma común como: *tomate*, *tomate bola* y *jitomate* (Billinger & Pérez, 2013)

las medias son muy similares; hay mayor homogeneidad en los frutos Hidropónicos tomando en cuenta la desviación estándar de 0.08 centímetros (Tello Cano G. V., 2014).

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Hidroponía

La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídrico-nutricionales, a través del agua y solución nutritiva (Beltrano & Gimenez, 2015).

a. Cultivo Hidropónico

Con los cultivos hidropónicos se puede atender necesidades alimenticias sin pensar en grandes extensiones de cultivos, pudiéndose implementar en casas, jardines, azoteas, ya sean hortalizas, flores y hasta pequeños arbustos o frutillas, permitiendo obtener productos aptos para consumo humano. Las frutas y verduras hidropónicas tienen más antioxidantes, poca cantidad de calorías, componentes diuréticos y propiedades curativas que los vegetales cultivados de forma tradicional, ya que los cultivos hidropónicos se manipulan con mayor limpieza e higiene desde la siembra hasta la cosecha. Además, es importante mencionar que con la hidroponía se contribuye al equilibrio ambiental. En un estudio realizado por la Plant Research Technologists (Investigación Tecnológica de Plantas) se encontró que las personas que consumen alimentos hidropónicos aumentan la cantidad de vitaminas y minerales en un 50% como las vitaminas A, C, E, B1, B2 y B3 (Ramírez J. , 2014).

Una de las ventajas que tiene la hidroponía sobre el cultivo en tierra es que permite una mayor concentración de plantas por metro cuadrado. Esto es muy notorio cuando se cultivan plantas, hortalizas y frutas, como por ejemplo fresas y lechugas, así como también al cultivar forraje hidropónico (Beltrano & Gimenez, 2015).

Dentro de las ventajas de los cultivos hidropónicos (Castellanos J. , 2014), se pueden mencionar:

- Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Reducción de costos de producción.
- Ahorro de agua, que se puede reciclar.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- Se evita la maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera).
- Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- Mayor precocidad de los cultivos.
- Alto porcentaje de automatización.
- Mejor y mayor calidad del producto.
- Altos rendimientos por unidad de superficie
- Aceleramiento en el proceso de cultivo
- Productos libres de químicos no nutrientes.

El cultivo en agua por definición es el auténtico cultivo hidropónico, aunque bajo el concepto descrito para hidroponía se contemplan otros sistemas.

Es un sistema en el que se sumerge la raíz de las plantas en una solución nutritiva, la cual contiene los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento. El cultivo hidropónico comprende una gran variedad de técnicas tratando de adecuarse a las formas, tamaños, procesos fisiológicos y crecimiento de las plantas (Luna, 2017). No obstante, según Luna (2017), todas estas técnicas son una variación (o combinación) de estos seis sistemas básicos, como lo muestra en la figura 1:

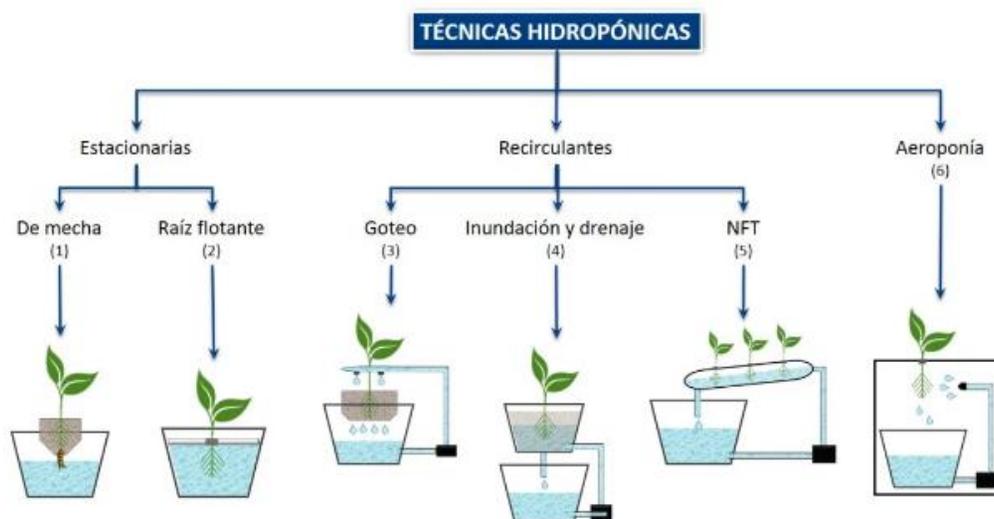


Figura 1. Técnicas Hidropónicas
Fuente: (Luna, 2017)

De acuerdo a lo anterior, dependiendo del medio utilizado para el desarrollo de las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos:

- **Cultivos en agua (con solución nutritiva).** Las soluciones nutritivas para los cultivos hidropónicos se componen de los minerales en la fuente del agua y de los nutrientes añadidos con los fertilizantes (Sela, Soluciones Nutritivas en Hidroponía, 2016).

Técnica de raíz flotante: Se utilizan piscinas opacas sobre las que flota una lámina de poliespán en las que se alojan las plantas con las raíces directamente sumergidas en la solución nutritiva (figura 2). La oxigenación de la solución se hace de forma automatizada con una bomba sopladora y un temporizador para programar los periodos de aireación (Luna, 2017).

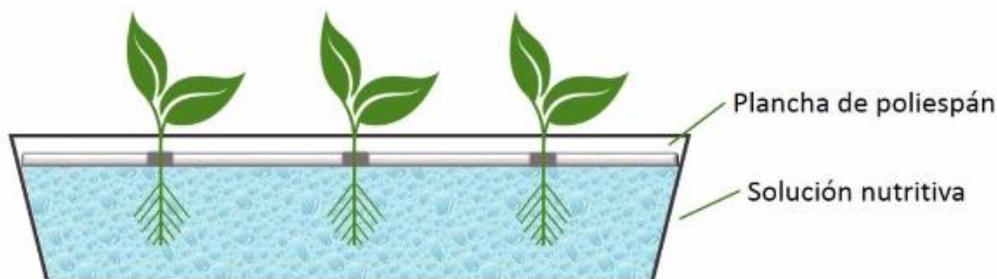


Figura 2. Técnica de raíz flotante

Fuente: (Luna, 2017)

Técnica de Película de Nutrientes (Nutrient Film Technique, NFT): El sistema comprende una serie de tubos o canales de cultivo de PVC con aberturas donde se colocan las plantas dentro de canastillas con un medio de sostén. Dentro de los canales de cultivo discurre una película de solución nutritiva que riega las raíces (2 L/min), la cual es bombeada desde el depósito en el que se almacena, se ajustan los parámetros y se realiza la oxigenación forzada (bombas sopladoras o bombeo de agua). Los canales de cultivo no deben superar los 6 m de longitud para evitar la pérdida de oxígeno en la solución nutritiva y se sitúan en bancadas dispuestas en paralelo con una inclinación (1,5 – 4%) para recoger la solución nutritiva por gravedad, se muestra en la figura 3. Es idóneo para el cultivo de hortalizas de ciclo corto (lechuga, berro, espinaca, aromáticas...) (Luna, 2017).

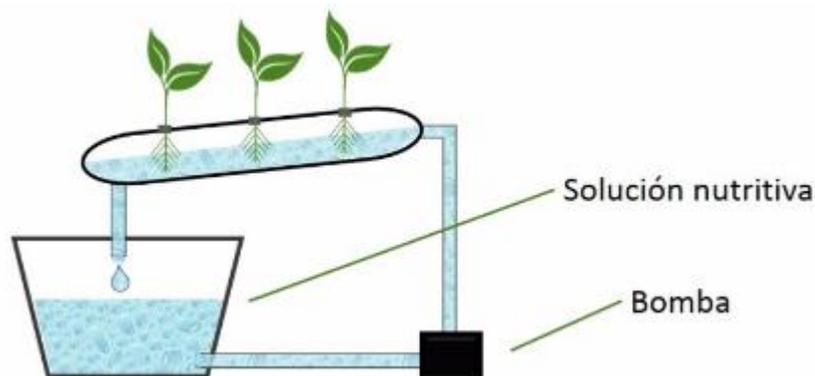


Figura 3. Técnica de Película de Nutrientes

Fuente: (Luna, 2017)

- **Cultivos en aire (aeropónicos).** Son una vertiente de los hidropónicos, con la diferencia de que en los primeros las raíces no están sostenidas en ningún sustrato, quedan en el aire y se alimentan a través de aspersores que les suplen los nutrientes necesarios (Estrada, 2014).

Aeroponía. Las raíces crecen suspendidas en el aire dentro de un recinto que no permite el paso de la luz y la solución nutritiva se suministra por nebulización controlada por temporizadores, se muestra en la figura 4 (unos segundos cada pocos minutos) (Luna, 2017).

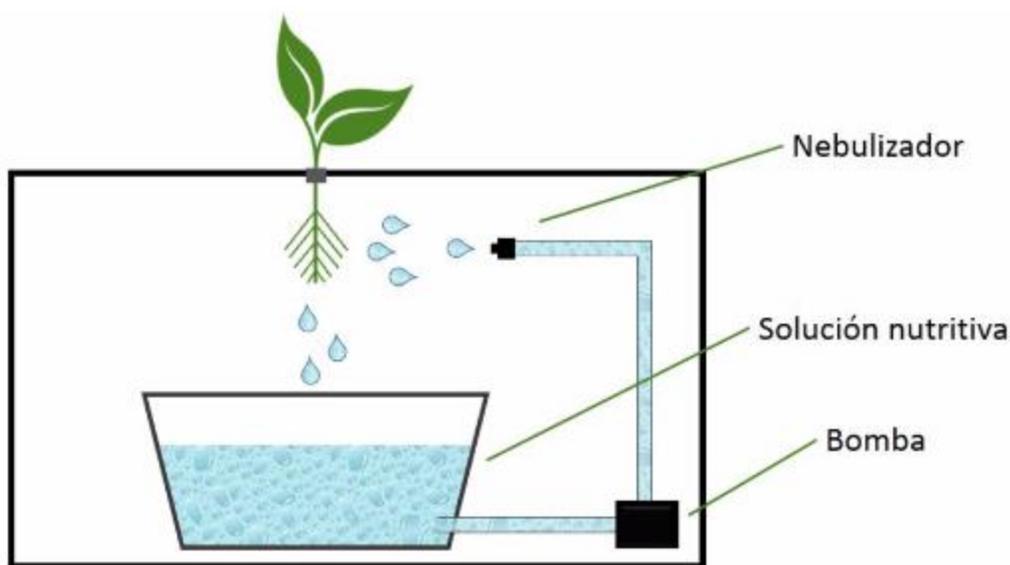


Figura 4. Aeroponía
Fuente: (Luna, 2017)

- **Cultivos en sustrato con solución nutritiva.** En estos sistemas las raíces se encuentran ancladas en un medio sólido, que llamaremos sustratos. La diferencia básica entre sustratos y suelos es que estos últimos aportan nutrientes a los cultivos mientras que los sustratos son inertes química y biológicamente (Axayacatl, 2018).

b. Cultivos en sustrato con solución nutritiva

Son los más conocidos popularmente es la hidroponía, el cultivo en sustratos ocupa superficies importantes en el mundo (en España sobrepasa las 4.000 ha) y es la técnica sin suelo más utilizada en la producción de hortalizas de fruto, tales como tomate, pimiento, fresa y pepino.

Técnicas estacionarias. Técnica hidropónica de mecha: Las plantas se soportan en cestas llenas de un sustrato inerte (Perlita, vermiculita, Pro-Mix y fibra de coco) al que llega la solución nutritiva desde el depósito a través de una mecha, se visualiza en la figura 5:

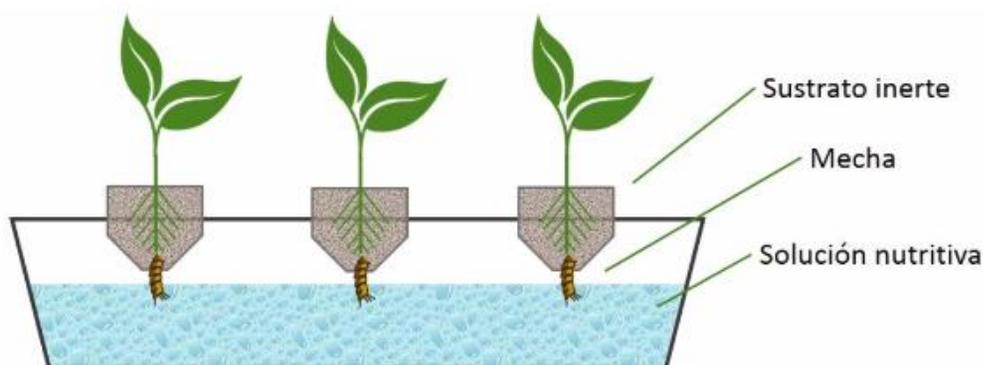


Figura 5. Técnica hidropónica de mecha

Fuente: (Luna, 2017)

Técnicas Recirculantes. Técnica de goteo con o sin recuperación de solución nutritiva: Es una técnica muy extendida en el cultivo de plantas de ciclo largo (tomates, pimientos, etc.). Las plantas se sitúan en bolsas o canales de cultivo llenas de sustrato inerte en los que se injerta una tubería mediante la cual se hace llegar la solución nutritiva por goteo. En los sistemas con recuperación de solución nutritiva se colocan bandejas con una ligera pendiente (2%) debajo de los canales de cultivo. El sobrante es drenado por gravedad, recogido y conducido al depósito principal para su reutilización. Este sistema permite un mayor aprovechamiento del agua, sin embargo, si la solución nutritiva se vuelve a reciclar al depósito inicial, requiere un continuo control y ajuste de parámetros como la conductividad eléctrica y el pH. El sistema sin recuperación de solución nutritiva

requiere un control más preciso de los ciclos de riego para mantener la humedad óptima y que escorrentía se mantenga al mínimo, se muestra en la figura 6 (Luna, 2017).

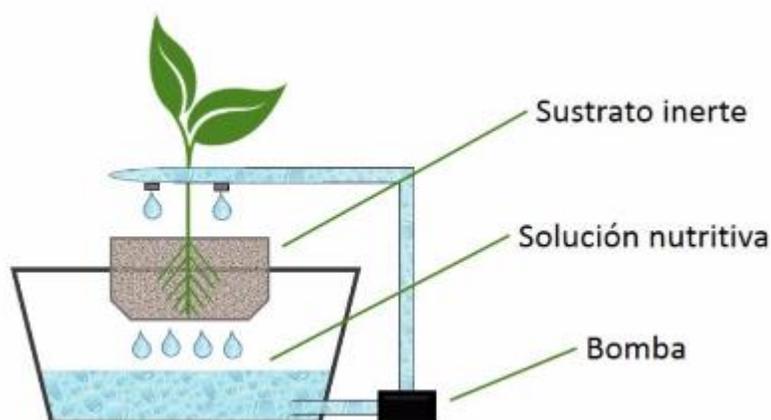


Figura 6. Técnica de goteo con o sin recuperación de solución nutritiva
Fuente: (Luna, 2017)

Técnica de inundación y drenaje (Ebb and Flow): El sistema utiliza una bomba conectada a un temporizador para inundar temporalmente la bandeja de cultivo con solución nutritiva y drenarla de nuevo al depósito. El tiempo entre inundación y drenaje depende del tamaño y tipo de cultivo, la temperatura y la humedad del invernadero y de la capacidad de retención del sustrato. La bandeja de cultivo puede llenarse de sustrato sobre el cual se desarrollan directamente las plantas (bolas de arcilla, perlita, vermiculita, lana de roca o fibra de coco) o pueden emplearse macetas individuales para que sea más fácil moverlas si fuera necesario, se muestra en la figura 7 (Luna, 2017).

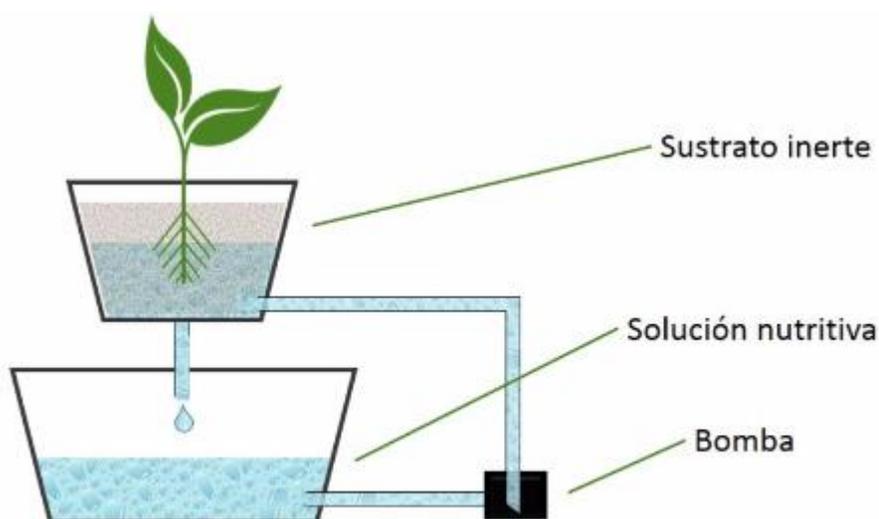


Figura 7. Técnica de inundación y drenaje (Ebb and Flow)
Fuente: (Luna, 2017)

c. Factores que influyen en los cultivos hidropónicos

Dentro de los factores que influyen en la producción de cultivos hidropónicos son:

1. **Conductividad eléctrica** La conductividad eléctrica (CE) indica el contenido de sales de la solución nutritiva. A mayor CE mayor es el contenido de sales. La conductividad eléctrica está referida en decisiemens por metro (dS/m) y en hidroponía dependerá del cultivo establecido. A excepción de algunas especialidades, los valores de este parámetro generalmente están entre 1 a 2 dS/m. (Lacarra & García , 2011). En caso de que se presente un incremento de la CE, se puede corregir mediante lixiviación controlada. Es decir, lixiviar con agua de calidad hasta conseguir un volumen de lixiviado equivalente al volumen del contenedor. Otras medidas pueden ser mantener el sustrato permanentemente húmedo o sombrear e incrementar la humedad relativa ambiente para reducir el estrés de la planta. La respuesta de la planta a la alta CE, va a depender de la edad, condiciones ambientales, manejo del cultivo y características de la especie. Un plantín (de bandeja alveolada) es más sensible que una planta de mayor

desarrollo, o una planta en un ambiente húmedo y fresco tolera mejor la salinidad que una cultivada en un ambiente cálido y con baja humedad relativa (Barbaro, 2017).

2. Nutrientes Hidropónicos. Al cultivar plantas sin tierra, se pierde una buena cantidad de los nutrientes que la tierra contiene. Al ser mezclados con agua, los nutrientes hidropónicos están diseñados para sustituir todos los macros y micro nutrientes que se encuentran en la tierra. Dentro de los macronutrientes están los conocidos como la proporción N-P-K, o proporción Nitrógeno/Fósforo/Potasio. Estos tres nutrientes son absorbidos por las plantas en las mayores cantidades y son conocidos como macronutrientes (Holandes, 2017). Cumplen papeles totalmente vitales en el desarrollo de una planta. He aquí lo que cada uno de ellos hace:

- **Nitrógeno (N).** El nitrógeno (N) es el nutrimento más importante sobre el rendimiento y calidad de la planta. La fuente de N modifica el crecimiento, rendimiento, calidad de la fruta, y composición química de los tejidos de la planta. En hidroponía, normalmente, se utiliza NO₃ para suministrar N, pero se ha visto que al aplicarlo en pequeños porcentajes de Nitrato de amonio la solución nutritiva, particularmente bajo condiciones de baja luz, beneficia en el crecimiento y rendimiento de las fresas hidropónicas (Morgan, 2012).
- **Fósforo (P).** Producción de azúcar, fosfato y energía. Ayuda a producir flores y frutos, así como también estimula el crecimiento de la raíz. El fosforo (P) es importante en el cultivo hidropónico, ya que fortalece el sistema radicular, previene achaparramiento de la planta y coadyuva a la obtención de un rendimiento óptimo. (Morgan, 2012).
- **Potasio (K).** Se necesitan altos niveles de este elemento para la síntesis de proteínas. Ayuda a fabricar azúcares y almidones, así como también contribuye al crecimiento de la raíz y a la resistencia de la planta.

Sin estos macronutrientes, una planta no podría sobrevivir. Las plantas necesitan diferentes cantidades de estos macros en diferentes etapas de sus vidas. Un exceso o

falta de cualquiera de estos nutrientes puede ser devastador para el desarrollo de una planta. A más de los macro nutrientes los cultivos hidropónicos requieren los micronutrientes Los siguientes siete elementos son conocidos como micronutrientes, y son necesarios en cantidades más pequeñas para tener una planta saludable.

- **Boro (B).** Combinado con el Calcio, ayuda a formar las paredes celulares.
 - **Calcio (Ca).** Combinado con el Boro, ayuda a formar las paredes celulares.
 - **Cobre (Cu).** Activa las enzimas y es necesario para la respiración y la fotosíntesis
 - **Hierro (Fe).** Es usado para formar la clorofila y en la respiración de azúcares para la energía.
 - **Magnesio (Mg).** Cataliza el proceso de crecimiento y produce oxígeno durante la fotosíntesis.
 - **Azufre (Z).** Sintetiza la proteína, ayuda a la fructificación, propagación y absorción de agua. También actúa como un fungicida orgánico.
 - **Zinc (Zn).** Ayuda en la formación de la clorofila, así como también colabora en la respiración y metabolismo del nitrógeno (Holandes, 2017).
- 3. Solución nutritiva.** Según Morales (2014) y Steiner (1980), consideran el nivel de concentración y relaciones elementales de todos los nutrientes, de tal forma que favorecen la absorción nutrimental por el cultivo. Para el caso de la fresa se tiene las diferentes soluciones nutritivas en relación con el nivel de conductividad eléctrica (Tabla 1):

Tabla 1.
Posibles soluciones nutritivas

Requerimientos fertilizantes mgr/lt							
CE mS/cm	Fosfato Monopotásico	Nitrato de calcio	Sulfato de magnesio	Sulfato de Amonio	Sulfato de Potasio	Fosfato diamónico	Fosfato monoamónico
0.5	33.7	76.39	120	152.38	133.68		
1		145.83	240	233.34	311.36	66.67	
2		291.67	480	470.82	620.45	129.17	
0.5		265	120	132	155		35
1		529	240	263	310		72
2		1059	480	524	620		146

Fuente: Citado en INTAGRI, (Morales , 2014)

Cálculo de la Solución Nutritiva. El cálculo de la solución nutritiva se suele hacer en dos partes: ajuste de macro elementos y ajuste de micro elementos. Normalmente, en cultivos sin suelo, si bien los requerimientos de macro elementos vienen dados en mmol/L o meq/L, los de micro elementos se expresan en mg/L o en mmol/L. En soluciones para cultivo en suelo, normalmente no suelen existir unos requerimientos marcados de micro elementos, ya que dependen mucho del tipo de suelo con el que se esté trabajando. En ambos casos, una vez calculados los aportes de iones hay que comprobar que no haya problemas de precipitación en la solución nutritiva. Además, se debe tener una idea de la CE aproximada de la solución nutritiva, para que en caso que no coincida con la CE consigna, realizar los ajustes necesarios

Reglas para el requerimiento de soluciones nutritivas. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva. El rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar o más los de los cultivos en suelo. La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., como se muestra en las ecuaciones 1-6 incidirán fuertemente en el rendimiento del cultivo.

$$\text{Nitrógeno (N)} = \frac{\text{valor} * 168.15}{2}$$

Ecuación 1. Nitrógeno

$$\text{Fósforo (P)} = \frac{\text{valor} * 31}{2}$$

Ecuación 2. Fósforo

$$\text{Potasio (K)} = \frac{\text{valor} * 273}{2}$$

Ecuación 3. Potasio

$$\text{Calcio (Ca)} = \frac{\text{valor} * 180}{2}$$

Ecuación 4. Calcio

$$\text{Magnesio (Mg)} = \frac{\text{valor} * 48}{2}$$

Ecuación 5. Magnesio

$$\text{Azufre (S)} = \frac{\text{valor} * 111.88}{2}$$

Ecuación 6. Azufre

Fuente: (Santos Coello & Ríos Mesa, 2016)

Regla para el cálculo de soluciones nutritivas. La decisión sobre que fertilizantes se deberán utilizar para preparar las soluciones nutritivas dependerá de la existencia del fertilizante, de su costo, de su solubilidad y del tipo de aporte de los elementos acompañantes, por lo que a manera de sugerencia se recomienda utilizar Nitrato cálcico para proporcionar el calcio, el cual a su vez también aportará nitrógeno; el nitrógeno faltante se puede suministrar con Nitrato de amonio o bien con Nitrato de potasio, el cual aportará algo de potasio, ecuación 7 (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y pecuarias, 2014).

$$\text{ppm}_{\text{fertilizante}_x} = \left(\frac{\text{ppm}_{\text{nutriente}_A}}{\text{Grado}_{\text{aporte}_A}} \right) * 100$$

$$\text{ppm}_{\text{nutriente}_B} = \left(\text{ppm}_{\text{fertilizante}_x} * \text{Grado}_{\text{aporte}_B} \right) / 100$$

Ecuación 7. Cálculo de soluciones nutritivas
Fuente: (Santos Coello & Ríos Mesa, 2016)

Elección de la concentración de fertilizantes La concentración máxima de sales se calcula a partir de la conductividad del agua de riego y de la conductividad a la que se desea regar el cultivo. A veces, en aguas de mala calidad, se supera el valor límite sin mermas de producción. En algunos casos, es asumible la pérdida de producción y en otros casos no lo es, por lo que debe bajarse la CE de consigna y explorar otras formas de aportar los nutrientes, como puede ser subir los aportes de materia orgánica, teniendo en cuenta su riqueza en nutrientes (tabla 2).

Tabla 2.
Solubilidad y fertilizantes más utilizados

Tipo de fertilizante	Composición %				Solubilidad
	N	P	K	Otro	
Nitrogenados					
Nitrato de amonio	34	0	0	0	Solubilidad media
Sulfato de amonio	21	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de calcio	15.5	0	0	Ca(26)	Muy soluble
Urea perlada	46	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de magnesio	27	0	0	Mg (4)	Solubilidad media
Fosfatados					
Ácido fosfórico	0	52	0	0	Muy soluble
Fosfato mono amónico	10	50	0	0	Solubilidad media
Fosfato diamónico	18	46	0	0	Solubilidad media
Superfosfato triple	0	46	0	0	Poco soluble
Potásicos					
Cloruro de potasio	0	0	60	0	Solubilidad media
Nitrato de potasio Crist.	13	0	44	0	Muy soluble
Sulfato de potasio	0	0	50	0	Solubilidad media

Fuente: (DASA, 2018)

Fertilizantes. Es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que se adiciona al suelo con la finalidad de suplir en determinados elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. En muchos países, las palabras abono y fertilizante se utilizan indistintamente, si bien esta última, adjetivo vinculado a la palabra fertilizar, es más apropiada para definir este tipo de productos. Al margen de la matización, la palabra fertilizante se emplea para definir cualquier sustancia orgánica o inorgánica que mejore la calidad del sustrato a nivel nutricional. Los fertilizantes pueden ser de dos tipos: orgánicos y minerales. Los primeros son generalmente de origen animal o vegetal,

mientras que los abonos minerales son como su nombre indica, sustancias de origen mineral, producidas bien por la industria química o bien por la explotación de yacimientos naturales (fosfatos, potasa) (Asociación Española de Fabricantes Agronutrientes, 2017).

El pH en sustrato. Bajo condiciones de cultivo intensivo se recomienda mantener el pH del sustrato y/o solución nutritiva dentro de un intervalo reducido. El pH óptimo para plantas ornamentales en contenedor es de 5.2 a 6.3, mientras que en hortalizas es de 5.5 a 6.8. La mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilación con pH 5.5 a 6.5. Por otro lado, un pH por debajo de 5.0 puede provocar deficiencias de N, K, Ca, Mg, B principalmente, y por encima de 6.5 puede disminuir la asimilación de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu.

El pH es importante ya que determina si una planta o cultivo es de buena o mala calidad, esto se debe al medio que se genera en la solución ya sea ácido o básico, esto sucede por la falta o exceso de algún elemento, también se sabe que tanto pH altos como bajos pasa un efecto antagónico, como se muestra en la figura 8:

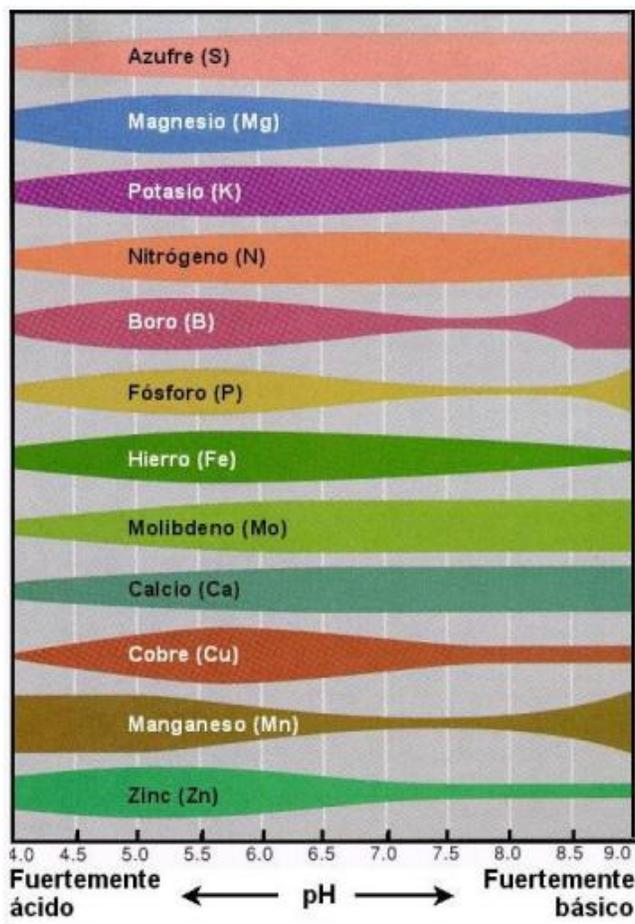


Figura 8. Rango del pH

Fuente: (Brajovic, 2016)

Sustrato para hidroponía. Un sustrato es un material inerte en el cual las raíces de la planta crecerán (Holandes, 2017). La mayoría de los cultivos comerciales hidropónicos utilizan sustratos sólidos para el sostén de las plantas y que las mismas estén bien asentadas (HydroEnviroment, 2016). Puede ser líquido o sólido. Los sustratos más comunes usados son:

- Cascarilla de arroz o conchas. 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.
- Fibra de coco. La Fibra de coco se encuentra dentro de los residuos agroindustriales de origen tropical. Esta fibra de coco es empleada en hidroponía la cual tiene una alta relación de carbono/nitrógeno, esto permite que se mantenga químicamente estable.

La retención de humedad que tiene es muy buena con un 57% (HydroEnviroment, 2016).

- Aserrín. El aserrín abunda dado el desconocimiento de que se tiene de la procedencia no es muy utilizado. Sin embargo, este sustrato tiene una retención de humedad de un 54% lo que es ideal para climas templados y secos (HydroEnviroment, 2016).
- Piedras volcánicas, tierra. Es un material rojizo, de origen volcánico, es ligero y con una apariencia esponjosa. En Ecuador se utiliza con gran éxito y posee partículas muy pequeñas las cuales tienen que ser eliminadas mediante lavados para evitar que se encharque nuestro cultivo. La capacidad de retención de agua es de un 49%. El tamaño recomendado debe encontrarse entre 5 y 15 mm. (HydroEnviroment, 2016).

Un buen sustrato para el cultivo hidropónico tiene las siguientes características:

- Debe estar hecho de partículas que midan entre 2 y 7 mm
- Debe poder mantener la humedad y drenar el exceso de líquido
- No debe degradarse o descomponerse fácilmente
- No debe contener microorganismos que sean dañinos para la salud humana o de la planta
- No debe estar contaminado con desperdicios industriales
- Debe estar disponible fácilmente
- Debe ser potable

Según Holandés (2017), las mezclas de sustrato más recomendadas son:

- 50% cascarilla de arroz: 50% tierra de piedras volcánicas
- 60% cascarilla de arroz: 40% arena
- 60% cascarilla de arroz: 40% tierra de ladrillos de arcilla
- 80% cascarilla de arroz: 20% aserrín.

Calidad de agua. Si el agua que se utilizará es apta para el consumo humano, servirá para el cultivo hidropónico. También se podrán utilizar aguas con alto contenido de sales, pero habrá que tener en cuenta el tipo de cultivo que se hará, ya que solo

algunos de ellos (el tomate, el pepino, la lechuga o los claveles) son más tolerantes. Habrá que tener muy presente la calidad microbiológica del agua. Si se sospecha que el agua está contaminada, la cloración es el camino más utilizado para su desinfección por su economía y facilidad de aplicación.

Es importante hacer notar que el agua, aun teniendo el pH en un rango normal (6.5 a 8.5), puede contener ciertos iones que en concentraciones superiores a ciertos límites pueden causar problemas de toxicidad a las plantas. Esta toxicidad, normalmente ocasiona reducción de los rendimientos, crecimiento desuniforme, cambios en la morfología de la planta y eventualmente la muerte de la misma. El grado de daño que se registre dependerá del cultivo, la etapa de crecimiento en que se encuentre, la concentración del ion y del clima. (Barros, 2015).

Temperatura. La temperatura ambiental afecta directamente el crecimiento de la planta hidropónica, por lo que la temperatura óptima para el cultivo de jitomate es de 15°C a 29°C. Una temperatura menor a 10°C provoca un crecimiento vegetativo muy lento y en caso que llegue a 0°C causa la muerte de la planta. Con temperaturas mayores a 35°C aumenta la transpiración, se forman hojas pequeñas, tallos delgados y racimos más pequeños y disminuye la viabilidad del polen. Cuando la temperatura disminuye alrededor de los 10°C es necesario activar el sistema de calefacción en el invernadero. Observa en la fotografía los calentadores que se usan en el invernadero (Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo, 2017)

Humedad. Los niveles de humedad fluctúan con el cambio de la temperatura del aire y, además, las plantas transpiran y agregan vapor de agua al ambiente constantemente. Si la humedad es demasiado baja, con frecuencia el crecimiento de las plantas se verá comprometido, ya que los cultivos tardan más tiempo en obtener un tamaño adecuado para la venta. Además, a menudo se caen las hojas inferiores, el crecimiento es difícil y la calidad en general no es muy buena. Si la humedad es muy alta o muy baja, la pérdida de calidad reduce el precio de venta de los cultivos y aumenta los costos de producción, lo que reduce las ganancias (Peer, 2017).

d. *Fresa hidropónica*

La Fresa crece de forma natural en los países con climas templados, cálidos o subtropicales a niveles de altura elevados. El cultivo se realiza en invernaderos de cultivo hidropónico en los países de clima caliente que pueden ser de sustrato o de raíz flotante (se prefiere el sustrato). La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne. Las fresas más conocidas como frutilla tienen un origen relativamente reciente en el siglo XIX, la forma más conocida de ellas es la "Alpina", aún cultivada y originaria de las laderas orientales del Sur de los Alpes, mencionadas en los libros por el año 1400. (Joomla, 2011).

La selección de una formulación depende de la variedad cultivada, el estado de desarrollo de las plantas y las condiciones climáticas. Por ejemplo, la Dr Lynette Morgan en su Guía Técnica de Hidroponía (2003) sugirió para la fresa hidropónica la solución nutritiva que se muestra en la tabla 3:

Tabla 3.

Partes por millón (ppm) de los elementos mayores y menores

N	P	K	Ca	Mg	S
128	58	211	40	104	54

Fuente: Morgan (2003)

La nutrición de las plantas, aspecto vital en el cual la empresa pone el mayor énfasis, se realiza mediante el sistema de riego. En el primer riego se dan elementos menores más Fósforo, en el segundo se dan elementos mayores NPK más Magnesio y Azufre; en el tercero se aplica Nitrato de Calcio, en el cuarto se aplican elementos mayores más Magnesio más un refuerzo del 20 % correspondiente al elemento necesario según el estado de desarrollo del cultivo que puede ser N, P o K. En el quinto riego se repite la dosis del cuarto. En el sexto se aplica nuevamente Nitrato de Calcio y el séptimo cierra el ciclo con aplicación de elementos menores más Fósforo. Si los días son muy calurosos se suelen aplicar adicionalmente dos riegos más con solo agua. Por otro lado, las fresas

requieren de altos niveles de potasio para tener buen tamaño, sabor, rendimiento y calidad de conservación de fruta.

Las plantas de fresa con frecuencia muestran deficiencias de Ca. Los síntomas de deficiencia comienzan en hojas en donde se observan quemaduras en bordes y ápice. La deficiencia severa produce hojas amarillentas y abscisión (Morgan, 2012). Las plantas cultivadas en condiciones de baja temperatura son susceptibles a la deficiencia de hierro (Fe). El rendimiento y el número de frutos por planta y el cuajado se afecta por la deficiencia de Fe (Hancock, 1999).

El equilibrio químico de los elementos nutritivos se considera más favorable que una riqueza elevada de los mismos. Es importante utilizar sustratos inocuos o suelos esterilizados o previamente tratados para mantener niveles bajos de patógenos que es indispensable para el cultivo. La granulometría óptima de un suelo para el cultivo de fresa aproximadamente es:

- 50% de arena
- 20% de arcilla
- 15% de calizas
- 5% de polvillo de coco o materia orgánica

Se utiliza como sustrato, con muy buenos resultados, la cascarilla de arroz cruda mezclada con cascarilla de arroz quemada, en un sistema de canaleta de polietileno como se muestra en la figura 9:



Figura 9. Canaletas para la producción de fresa, con sustrato.
Fuente: (JOOMLA, 2011)

El crecimiento y productividad de la fresa así como las características organolépticas de la fruta son afectadas por la concentración de los elementos en la solución nutritiva. Dicha concentración de sales se determina mediante niveles de conductividad eléctrica, y para esto se utiliza un conductímetro, el cual mide los dS/m (deciSiemens por metro). En el caso de la fresa, se recomienda que la solución nutritiva se encuentre en un rango de conductividad eléctrica entre 1,0 y 1,8 dSm⁻¹.

Según Kader (1988), para los productores es importante que sus productos tengan una buena apariencia y pocos defectos visuales, pero además que tengan un alto rendimiento, que sean resistentes a las enfermedades y que sean fáciles de cosechar. Para los distribuidores comerciales, la calidad de apariencia es lo más importante, además de las características de firmeza y la vida de almacenamiento del producto. Finalmente, los consumidores demandan un producto con buena apariencia, buena firmeza, con un agradable sabor y con un adecuado valor nutritivo.

e. Los indicadores de calidad de la fresa

Firmeza (ausencia de frutas suaves o sobre maduras). la firmeza es uno de los principales atributos, por lo que un aspecto muy importante a considerar durante su manejo poscosecha es la pérdida de su calidad debido a la alteración de su textura

(suavizamiento excesivo). La firmeza mide la resistencia a daños físicos ocasionados por medios mecánicos durante la recolección, manipulación y transporte; depende del momento y método de recolección y de la temperatura de almacenamiento (Buitrago et al., 2004).

Tamaño. Se considera que el peso es una medida del tamaño del producto, sin embargo, en las empacadoras de fresa, es más frecuente la determinación del diámetro ecuatorial. El peso de cada una de las fresas de las muestras es pesado en una balanza granataria digital Mettler PC 4400 con una sensibilidad de 0.01g y el diámetro ecuatorial se determina mediante el uso de un vernier (Diaz, 2005). Para el tamaño se evaluó el diámetro longitudinal y diámetro polar, con un Vernier Trupper digital.

Rendimiento. Los frutos recolectados fueron llevados y pesados con una balanza analítica, se realizó una sola cosecha demostrándose los beneficios alcanzados

2.2.2. Software

Software, también referido a él con la abreviatura SW, es una palabra que proviene del inglés y que da significado al soporte lógico de un sistema informático, es decir, es la parte no física que hace referencia a un programa o conjunto de programas de cómputo que incluye datos, reglas e instrucciones para poder comunicarse con el ordenador y que hacen posible su funcionamiento (Raffino, 2017).

El desarrollo de software no es una tarea fácil. Prueba de ello es que existen numerosas propuestas metodológicas que inciden en distintas dimensiones del proceso de desarrollo.

2.2.3. Las metodologías y estándares.

Lograr la construcción de un sistema informático eficiente, que cumpla con los requerimientos planteados, es una tarea realmente intensa y sobre todo difícil de cumplir. Las metodologías para el desarrollo del software imponen un proceso disciplinado sobre

el desarrollo de software con el fin de hacerlo más predecible y eficiente. Una metodología de desarrollo de software tiene como principal objetivo aumentar la calidad del producto software que se produce, así como su proceso en todas y cada una de sus fases y sus adjuntos. Es de suma importancia elegir la metodología correcta, así como las herramientas de implementación adecuadas, que garantice llevar al éxito la elaboración del software (Canós, Letelier , & Penadés, 2015).

Extreme Programming (XP). Es una metodología ágil centrada en potenciar las relaciones interpersonales como clave para el éxito en desarrollo de software, promoviendo el trabajo en equipo, preocupándose por el aprendizaje de los desarrolladores, y propiciando un buen clima de trabajo

Scrum. Define un marco para la gestión de proyectos, está especialmente indicada para proyectos con un rápido cambio de requisitos.

Crystal Methodologies. Se trata de un conjunto de metodologías para el desarrollo de software caracterizadas por estar centradas en las personas que componen el equipo (de ellas depende el éxito del proyecto) y la reducción al máximo del número de artefactos producidos

Microsoft Solution Framework (MSF). Esta es una metodología flexible e interrelacionada con una serie de conceptos, modelos y prácticas de uso, que controlan la planificación, el desarrollo y la gestión de proyectos tecnológicos

Métrica 3. Es una metodología de planificación, desarrollo y mantenimiento de sistemas de información.

Proceso Unificado de Desarrollo Rational Unified Process (RUP). Es un proceso para el desarrollo de un proyecto de software que define claramente quien, cómo, cuándo y qué debe hacerse en el proyecto (Jacobson, 2013).

RUP. Las siglas RUP en ingles significa Rational Unified Process (Proceso Unificado de Rational) es un producto del proceso de ingeniería de software que

proporciona un enfoque disciplinado para asignar tareas y responsabilidades dentro de una organización del desarrollo. Su meta es asegurar la producción de software de alta calidad que resuelve las necesidades de los usuarios dentro de un presupuesto y tiempo establecidos.

En la figura 10 se puede observar como varía el énfasis de cada disciplina en un cierto plazo en el tiempo, y durante cada una de las fases. Por ejemplo, en iteraciones tempranas, pasamos más tiempo en requerimientos, y en las últimas iteraciones pasamos más tiempo en poner en práctica la realización del proyecto en sí (Rueda, 2016).

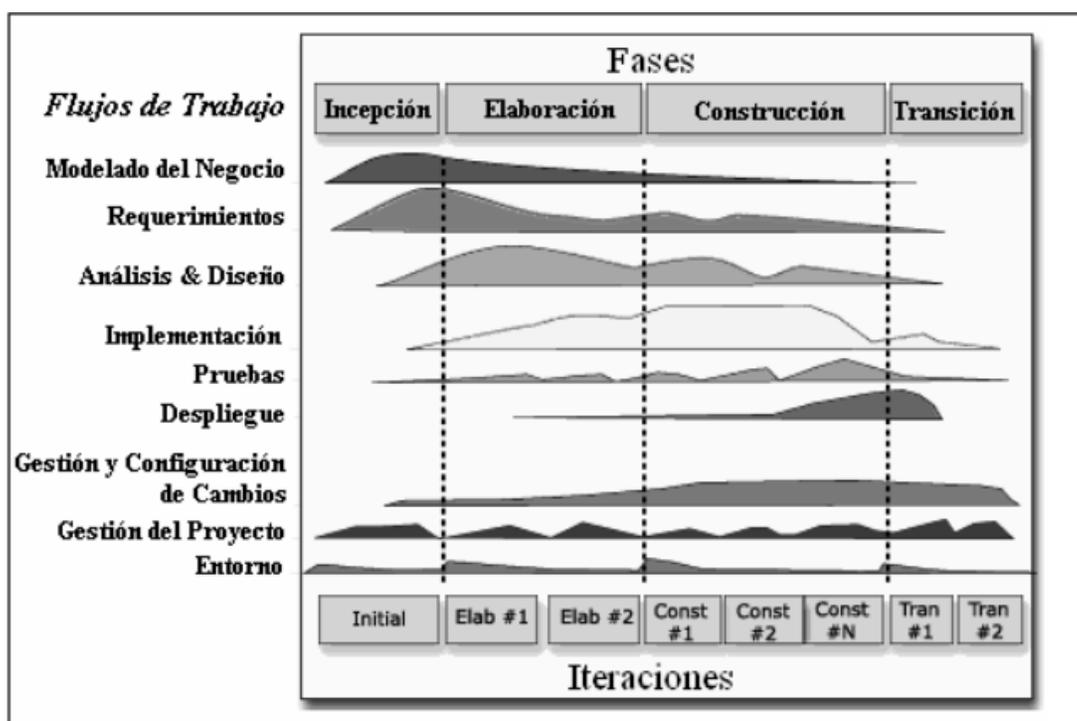


Figura 10. Flujos de Trabajo

Fuente: (Rueda, 2016)

Algunos aspectos que diferencian a RUP de las demás metodologías y lo que lo hace único es que en RUP, los casos de uso no son sólo una herramienta para especificar los requisitos del sistema, sino que también guían su diseño, implementación y prueba. Los casos de uso constituyen un elemento integrador y una guía del trabajo. Además de utilizar los casos de uso para guiar el proceso; se presta especial atención al establecimiento temprano de una buena arquitectura que no se vea fuertemente

impactada ante cambios posteriores durante la construcción y el mantenimiento. También este propone que cada fase se desarrolle en iteraciones.

Inicio (Inception). El objetivo general de esta fase es establecer un acuerdo entre todos los interesados acerca de los objetivos del proyecto. Es significativamente importante para el desarrollo de nuevo software, ya que se asegura de identificar los riesgos relacionados con el negocio y requerimientos. Para proyectos de mejora de software existente, esta fase es más breve y se centra en asegurar la viabilidad de desarrollar el proyecto (Castro, 2010)

Elaboración. El objetivo en esta fase es establecer la arquitectura base del sistema para proveer bases estables para el esfuerzo de diseño e implementación en la siguiente fase. La arquitectura debe abarcar todas las consideraciones de mayor importancia de los requerimientos y una evaluación del riesgo (Castro, 2010).

Construcción. El objetivo de la fase de construcción es clarificar los requerimientos faltantes y completar el desarrollo del sistema basados en la arquitectura base. Vista de cierta forma esta fase es un proceso de manufactura, en el cual el énfasis se torna hacia la administración de recursos y control de las operaciones para optimizar costos, tiempo y calidad (Castro, 2010).

Transición. Esta fase se enfoca en asegurar que el software esté disponible para sus usuarios. Se puede subdividir en varias iteraciones, además incluye pruebas del producto para poder hacer el entregable del mismo, así como realizar ajustes menores de acuerdo a ajuste menores propuestos por el usuario (Castro, 2010).

Así como se debe cumplir una metodología, es necesario que esta cuente con herramientas necesarias que permita la aplicación de estas fases, para esto se utiliza un lenguaje de programación, que se describe a continuación:

Python 3.6: Python es un lenguaje interpretado que es de código abierto poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes de alto nivel y un enfoque

simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. Hemos utilizado python3.6 en todo nuestro proyecto para desarrollar el código difuso y también codificar los sensores interconectados con la RaspberryPi. Python Dispone de muchas funciones incorporadas en el propio lenguaje, para el tratamiento de strings, números, archivos, etc. Además, existen muchas librerías que podemos importar en los programas para tratar temas específicos para la realización del proyecto de investigación se utilizaron librerías como:

NumPy. Es un paquete que proporciona un poderoso objeto de matriz N-dimensional, funciones sofisticadas (de transmisión), herramientas para integrar código C / C ++ y Fortran, Álgebra lineal útil, transformada de Fourier y capacidades de números aleatorios

SciKit-Fuzzy. Este paquete implementa muchas herramientas útiles para proyectos que involucran lógica difusa, también conocida como lógica gris.

Matplotlib. Este paquete proporciona gráficos interactivos, desarrollo de interfaz de usuario y servidores de aplicaciones web dirigidos a múltiples interfaces de usuario y formatos de salida impresos.

RPi.GPIO. Este paquete proporciona una clase para controlar el GPIO en una Raspberry Pi proporcionando acceso y control de los componentes vinculados.

MySQL-python. Este paquete crea una conexión entre Python y la base de datos MySQL, permitiendo acceso Casi todas las características proporcionadas por MySQL Server, por lo que antes de comenzar, debe tener ese paquete instalado (Manav & Saxena, 2018).

2.2.4. Lógica difusa

a. Definición

Básicamente la Lógica Difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales

para su tratamiento. Como indica Zadeh (1973), “Cuando aumenta la complejidad, los enunciados precisos pierden su significado y los enunciados útiles pierden precisión.”, que puede resumirse como que “los árboles no te dejan ver el bosque”.

La lógica difusa o lógica heurística se basa en lo relativo de lo observado como posición diferencial. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1 metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal (Franedict, 2012).

b. Funcionamiento

La lógica difusa se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo "hace mucho calor", "no es muy alto", "el ritmo del corazón está un poco acelerado", etc. La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de nuestro lenguaje (en los ejemplos de arriba "mucho", "muy" y "un poco"). En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos (ver también subconjunto difuso), en los que se basa esta lógica (Franedict, 2012).



Figura 11. Sistema basado en lógica difusa
Fuente: (Franedict, 2012)

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidales, lineales y curvas.

Se basa en reglas heurísticas de la forma SI (antecedente) ENTONCES (consecuente), donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Sirvan como ejemplos de regla heurística para esta lógica (nótese la importancia de las palabras "muchísimo", "drásticamente", "un poco" y "levemente" para la lógica difusa):

- SI hace muchísimo calor entonces aumentó drásticamente la temperatura.
- SI voy a llegar un poco tarde entonces aumento levemente la velocidad (Castellanos A. , 2013).

Los métodos de inferencia para esta base de reglas deben ser simples, veloces y eficaces. Los resultados de dichos métodos son un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí (cada área es resultado de una regla de inferencia). Para escoger una salida concreta a partir de tanta premisa difusa, el método más usado es el del centroide, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante.

Las reglas de las que dispone el motor de inferencia de un sistema difuso pueden ser formuladas por expertos, o bien aprendidas por el propio sistema, haciendo uso en este caso de redes neuronales para fortalecer las futuras tomas de decisiones.

Los datos de entrada suelen ser recogidos por sensores, que miden las variables de entrada de un sistema. El motor de inferencias se basa en chips difusos, que están aumentando exponencialmente su capacidad de procesamiento de reglas año a año (Del Brio & Sanz Molina, 2017)

c. Aplicaciones

La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo). Esta técnica se ha empleado con bastante éxito en la industria, principalmente en Japón, y cada vez se está usando en gran multitud de campos (Palma & Marín, 2018). La primera vez que se usó de forma importante fue en el metro japonés, con excelentes resultados. A continuación, se citan algunos ejemplos de su aplicación:

- Optimización de sistemas de control industriales
- Sistemas expertos del conocimiento (simular el comportamiento de un experto humano)
- Tecnología informática
- Bases de datos difusas: Almacenar y consultar información imprecisa.
- En general, en la gran mayoría de los sistemas de control que no dependen de un Sí/No (Palma & Marín, 2018).

d. Conjuntos difusos

Los conocimientos se asocian a conjuntos difusos (asociando los valores de pertenencia) en un proceso llamado fuzzificación. Una vez que se tienen los valores fuzzificados se puede trabajar con reglas lingüísticas y obtener una salida, que podrá seguir siendo difusa o defuzzificada para obtener un valor discreto. La idea básica de un conjunto difuso es que, un elemento forma parte de un conjunto con un determinado grado de pertenencia. De este modo una proposición no es totalmente sino parcialmente cierta o falsa. Este grado se expresa mediante un entero en el intervalo $[0, 1]$ se muestra en la figura 12 (Gonzales Morcillo, 2011).

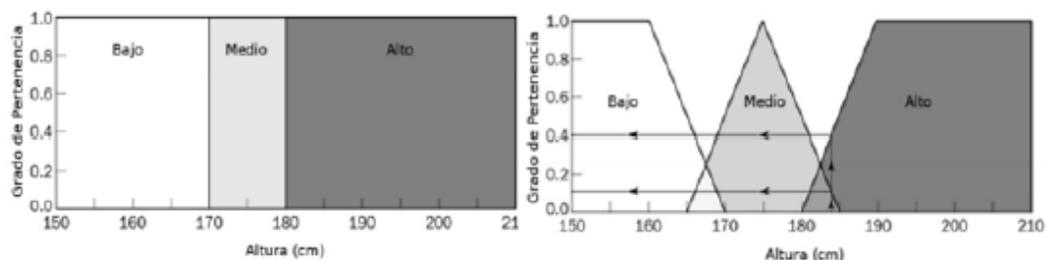


Figura 12. Ejemplo de representación de conjuntos clásicos (izquierda) a conjuntos difusos (derecha)

Fuente: Gonzales Morcillo, *Lógica Difusa Una introducción práctica*, 2011

En la figura 12 se muestra un ejemplo para la catalogar la altura de una persona. La grafica izquierda representa con conjuntos clásicos el valor del grado de pertinencia que es 0 o 1. En la derecha se observa el mismo ejemplo representado en conjuntos difusos donde el grado de pertinencia se representa con valores en el intervalo $[0, 1]$.

e. Representación de conjuntos difusos

Para definir un conjunto difuso hay que definir su función de pertenencia. Un método habitual es preguntar a un experto sobre el dominio del problema y representarlo mediante diferentes funciones típicamente triangulares y trapezoidales. Para representar un conjunto difuso continuo en un computador necesitamos expresar esa función de pertenencia y mapear los elementos del conjunto con su grado de pertenencia (Gonzales Morcillo, 2011).

Función trapezoidal. Se utiliza habitualmente en sistemas sencillos, pues permite definir un conjunto con pocos datos y calcular su valor de pertenencia con pocos cálculos. Se define con una serie de rangos que se muestran en la figura 13 (Del Brio & Sanz Molina, 2017).

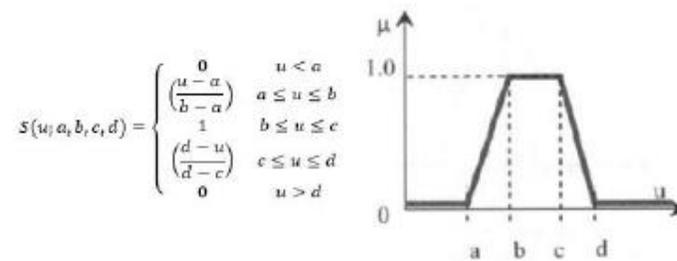


Figura 13. Función trapezoidal

Fuente: Del Brio, B. M., & Sanz, A. *Redes neuronales y Sistemas difusos*. 2017

Función Triangular. Esta función es adecuada para modelar propiedades con valor de inclusión distinto de cero para un rango de valores estrechos en torno a un punto b . Se define con los rangos descritos en la figura 14 (Del Brio & Sanz Molina, 2017)

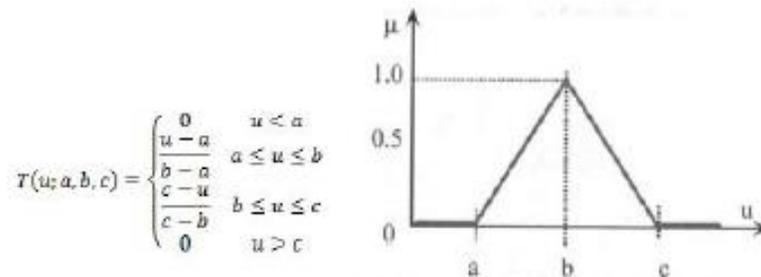


Figura 14. Función Triangular

Fuente: Del Brio, B. M., & Sanz, A. *Redes neuronales y Sistemas difusos*. 2017

f. Reglas Difusas

Las reglas difusas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada llamados antecedentes o premisas, se les asocian un conjunto difuso de salida, llamado consecuente o consecuencia. Los antecedentes se asocian por conjuntivas lógicas “y”, “o”. Un ejemplo de tipo IF-THEN sería “Si error es positivo_pequeño y derivada_de_error es negativo_pequeño Entonces acción es positiva_pequeña”. Las reglas difusas permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes y

consecuentes; para esto se necesita de varias reglas, que se agrupan formando una base de reglas (Del Brio & Sanz Molina, 2017).

Arquitectura del Modelo

Cuando se diseña un sistema difuso el primer paso es seleccionar la estructura del sistema en estudio. En este caso el sistema trabaja con una estructura del tipo Puro ó Mamdani (Kandel, 1986). La arquitectura general del Sistema Difuso consta principalmente de tres partes, la fusificación, base de conocimiento con su sistema de inferencia y la defusificación (figura 15) (Santos, 2018)



Figura 15. Arquitectura General del Sistema Difuso

Fuente: (Fernández & Carvajal, 2010)

Por su parte la estructura general del modelo difuso, incluyó las variables de entrada las cuales a su vez fueron subsistemas difusos, el bloque de reglas y la variable de salida (Fernández & Carvajal, 2010). Las líneas de conexión simbolizan el flujo de datos, se observa en la siguiente figura 16.

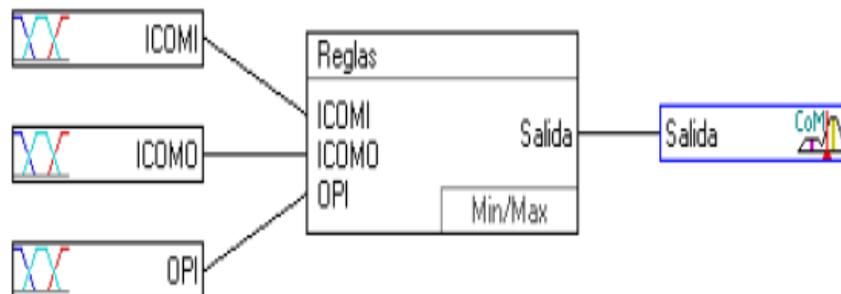


Figura 16. Estructura General del Modelo

Fuente: (Fernández & Carvajal, 2010)

2.2.5. Hardware

a. Raspberry pi3



Figura 17. Raspberry Pi 3
Fuente: (Atlas Scientific, 2019)

En la figura 17 se muestra una placa de Raspberry Pi 3 B+ apareció en marzo del 2018 para actualizar el modelo anterior la Raspberry Pi 3 Model B y entre sus mejoras cuenta con un nuevo procesador y mejor conectividad, así que pasa de tener 1.2Ghz a tener 1.4Ghz y en cuanto a la conectividad inalámbrica ahora incorpora doble banda a 2,4GHz y 5GHz, y su nuevo puerto Ethernet se triplica, pasa de 100 Mbits/s en el modelo anterior a 300 Mbits/s en el nuevo modelo, también cuenta con Bluetooth 4.2 (Low Energy) (Atlas Scientific, 2019).

b. Sensor de pH



Figura 18. Sensor pH
Fuente: (Spectris, 2016)

En la figura 18 se visualiza el medidor de pH es un instrumento utilizado para medir la acidez o la alcalinidad de una solución, también llamado de pH. El pH es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es medido en una escala que va de 0 a 14. Las informaciones cuantitativas dadas por el valor del pH expresan el grado de acidez de un ácido o de una base en términos de la actividad de los iones de hidrógeno.

El valor del pH de determinada sustancia está directamente relacionado a la proporción de las concentraciones de los iones de hidrógeno $[H^+]$ e hidroxilo $[OH^-]$. Si la concentración de H^+ es mayor que la de OH^- , el material es ácido; el valor del pH es menor que 7. Si la concentración de OH^- es mayor que la de H^+ , el material es básico, con un pH con valor mayor que 7. Si las cantidades de H^+ y de OH^- son las mismas, el material es neutral y su pH es 7. Ácidos y bases tienen, respectivamente, iones de hidrógeno y de hidroxilo libres. La relación entre los iones de hidrógeno y de hidroxilo en determinada solución es constante para un dado conjunto de condiciones y cada uno puede ser determinado desde que se conozca el valor del otro (Spectris, 2016).

c. Sensor de humedad



Figura 19. Sensor de humedad
Fuente: (Arduino, 2017)

En la figura 19 se muestra el sensor de temperatura y humedad SHT20 que está equipado con una sonda resistente al agua. El chip del sensor de temperatura y humedad es el 4C CMOSens SHT20 y la sonda cuenta con protección a prueba de agua.

El sensor de temperatura y humedad SHT20 I2C adopta las técnicas de Sensirion. SHT20 contiene un amplificador, un convertor A/D, memoria OTP y una unidad de procesamiento digital. En comparación con las primeras series SHT1x y SHT7x, SHT20 muestra una gran fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Puede medir la temperatura ambiental circundante y la humedad relativa del aire con precisión.

Este sensor adopta dos técnicas de protección a prueba de agua. El PCB interno tiene protección de perfusión y encapsulado, y el recinto de la sonda está hecho de materiales PE resistentes al agua. Se trata de un material especial impermeable y transpirable que permite que las moléculas de agua se filtren mientras bloquea el paso de las gotas de agua. El sensor no se dañará incluso después de un largo tiempo de sumergirse en el agua. También hay una resistencia incorporada de 10k y un condensador de filtro de 0.1uf que permite que el sensor se use directamente con un microcontrolador (Arduino, 2017)

d. Sensor de conductividad eléctrica



Figura 20. Sensor de conductividad eléctrica
Fuente: (Atlas Scientific, 2018)

En la figura 20 se visualiza el sensor de Conductividad se puede utilizar para medir la conductividad en una solución o la concentración total de iones en muestras acuosas que se investigan en el campo o en el laboratorio. Puede ser conectada a cualquier

interface Vernier (U.L.I., Interface de Caja Serial, M.P.L.I., o Unidad de Entrada de Voltaje), también como al Sistema de Laboratorio Basado en la Calculadora Texas Instruments (C.B.L.). La conductividad es una de las pruebas ambientales más fáciles en muestras acuáticas.

Aunque no dice que iones específicos están presentes, determina rápidamente la concentración total de iones en una muestra. Se puede utilizar para realizar una amplia variedad de pruebas o planear experimentos para determinar cambios en los niveles de iones o salinidad total. Medir los cambios en la conductividad resultado de la fotosíntesis en plantas acuáticas, con la disminución que resulta de la concentración del ion de bicarbonato de dióxido de carbono. Utilice este sensor para una medida exacta de los sólidos disueltos totales (T.D.S.) en una corriente o lago (Atlas Scientific, 2018).

e. Sensor de temperatura



Figura 21. Sensor de temperatura

Fuente: (Atlas Scientific, 2018)

En la figura 21 visualiza los sensores RTD de platino, Pt100 y Pt1000 son los más comunes. Los sensores Pt100 tienen una resistencia nominal de 100Ω en el punto de hielo (0°C). La resistencia nominal de los sensores Pt1000 a 0°C es de 1.000Ω . La linealidad de la curva característica, el rango de temperatura de operación y el tiempo de

respuesta son los mismos para ambos. El coeficiente de temperatura de resistencia es también el mismo. Sin embargo, debido a la diferente resistencia nominal, las lecturas de los sensores Pt1000 son mayores en un factor de 10 en comparación con los sensores Pt100. Esta diferencia se hace evidente cuando se comparan configuraciones de 2 cables, donde se aplica el error de medición del cable. Por ejemplo, el error de medición en un Pt100 podría ser + 1.0 ° C, y en el mismo diseño, un Pt1000 podría ser + 0.1 ° C.

Un sensor Pt1000 es mejor en configuraciones de 2 cables y cuando se usa con cables de mayor longitud. Cuanto menor sea el número de cables y cuantos más largos sean, más resistencia se agregará a las lecturas, lo que causará imprecisiones. La mayor resistencia nominal del sensor Pt1000 compensa estos errores agregados. Un sensor Pt1000 es mejor para aplicaciones que funcionan con baterías. Un sensor con una resistencia nominal más alta usa menos corriente eléctrica y, por lo tanto, requiere menos energía para funcionar. Un menor consumo de energía prolonga la vida útil de la batería y el intervalo entre el mantenimiento, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos. Dado que un sensor Pt1000 utiliza menos energía, hay menos autocalentamiento. Esto significa menos errores en la lectura como resultado de temperaturas más altas que las ambientales (Sáez, 2018).

2.3. Fundamentación Legal

En relación con esta investigación y su objetivo, encontramos dentro de la fundamentación legal ecuatoriana, algunos artículos que sustentan los objetivos de esta investigación, enfocados en las Ciencias Naturales, resulta de vital importancia la revisión de aquellos estatutos relacionados con la sostenibilidad ambiental, así como aquellos enmarcados en las visiones actuales de los procesos de enseñanza- aprendizaje.

La investigación se fundamenta en la Constitución de la República del Ecuador:

TÍTULO VII RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR SECCIÓN PRIMERA EDUCACIÓN

Art. 343.- El sistema nacional de educación tendrá como finalidad el desarrollo de capacidades y potencialidades individuales y colectivas de la población, que posibiliten el aprendizaje, y la generación y utilización de conocimientos, técnicas, saberes, artes y cultura. El sistema tendrá como centro al sujeto que aprende, y funcionará de manera flexible y dinámica, incluyente, eficaz y eficiente.

Art. 345.- La educación como servicio público se prestará a través de instituciones públicas, fisco misional y particular. En los establecimientos educativos se proporcionarán sin costo servicios de carácter social y de apoyo psicológico, en el marco del sistema de inclusión y equidad social.

Art. 347.- Será responsabilidad del Estado: 3. Garantizar modalidades formales y no formales de educación. 8. Incorporar las tecnologías de la información y comunicación en el proceso educativo y propiciar el enlace de la enseñanza con las actividades productivas o sociales. 11. Garantizar la participación activa de estudiantes, familias y docentes en los procesos educativos.

Art. 349.- El Estado garantizará al personal docente, en todos los niveles y modalidades, estabilidad, actualización, formación continua y mejoramiento pedagógico y académico; una remuneración justa, de acuerdo a la profesionalización, desempeño y méritos académicos. La ley regulará la carrera docente y el escalafón; establecerá un sistema nacional de evaluación del desempeño y la política salarial en todos los niveles. Se establecerán políticas de promoción, movilidad y alternancia docente. CAPÍTULO SEGUNDO BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES Sección primera Naturaleza y ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: 1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras. 2. Las políticas de gestión ambiental se

aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

Según la “Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de Agricultura” en el título IV de la agricultura sustentable, Capítulo I de las buenas prácticas en sus artículos 48 y 49 que mencionan:

Art. 48.- Agricultura Sustentable. Para efectos de aplicación de esta Ley, se entiende por agricultura sustentable a los sistemas de producción agropecuaria que permiten obtener alimentos de forma estable, saludable, económicamente viable y socialmente aceptable, en armonía con el medio ambiente y preservando el potencial de los recursos naturales productivos, sin comprometer la calidad presente y futura del recurso suelo, disminuyendo los riesgos de degradación del ambiente y de contaminación física, química y biológica de los productos agropecuarios. Constituyen modelos de agricultura sustentable: la agroecología, agricultura orgánica, agricultura ecológica, agricultura biodinámica, agricultura biointensiva, permacultura, agricultura sinérgica, bosque de alimentos, agricultura natural, y otras que se establezcan.

Art. 49.- Prácticas y tecnologías. Constituyen prácticas y tecnologías de agricultura sustentable, destinadas al uso de alternativas de innovación tecnológica, que debe fomentar el Estado las siguientes:

c) Promover la regeneración de los recursos naturales renovables y de los sistemas productivos;

f) Promover la economía familiar campesina y comunitaria para dinamizar este sector, así como fomentar el consumo de alimentos saludables;

h) Fomentar el uso y aprovechamiento responsable del agua; i) Impulsar y optimizar la utilización de los ciclos naturales de nutrientes y energía;

j) Incrementar la inmunidad natural de los sistemas agrícolas;

k) Recuperar el equilibrio y capacidad regenerativa de los sistemas agrícolas, liberándolos de pesticidas y agrotóxicos;

l) Incrementar y optimizar la productividad agrícola de forma sostenible y permanente; (Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, semillas y fomento de agricultura, 2017)

2.4. Sistema de Variables

2.4.1. Definición Nominal

Tabla 4.

Definición nominal

Variable	Nombre	Definición
Variable Independiente:	Sistema software control	Cuantitativa
Variable Dependiente:	Control de fluido de nutrientes	Cuantitativa
Variable Interviniente:	Cultivo hidropónico	Cuantitativa

2.4.2. Definición Conceptual

Tabla 5.

Definición conceptual

Variable Independiente:	Sistema software control	El software de control es una interfaz interactiva y sencilla de entender que permite a los usuarios el manejo de datos en tiempo real, toma de decisiones controladas y retroalimentación del sistema.
Variable Dependiente:	Control de fluido de nutrientes	Los nutrientes se encuentran en cantidades limitadas en la Tierra. Por esto deben ser reciclados y reutilizados constantemente por los organismos
Variable Interviniente:	Cultivo hidropónico	Se refiere a una técnica de cultivo sin suelo, donde la tierra se sustituye con un medio inerte, tal como arcilla expandida, fibra de coco, lana de roca o zeolita

2.4.3. Definición Operacional

Tabla 6.

Definición operacional

Variable Independiente:	Sistema software control	Sistema de control difuso de las variables: Temperatura Humedad Potencial hidrogeno Conductividad eléctrica
Variable Dependiente:	Control de fluido de nutrientes	Tipo de fertilizante Cantidad del fertilizante Composición del nutriente
Variable Interviniente:	Cultivo hidropónico	Tiempo Crecimiento de la planta Grosor de la fruta Calidad de la fresa

2.5. Hipótesis

La hipótesis que se aplicará para este proyecto de investigación es de tipo experimental (causa – efecto):

“La implementación de un sistema software control que automatice el control del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico”

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO

3.1. Introducción del capítulo

En este capítulo se detalla la implementación del proyecto “Sistema software de control para la optimización del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico”, aplicando las fases de la metodología RUP. Se realizaron varias entrevistas a expertos en el área agrícola (Anexo 2) para identificar los requerimientos del sistema a partir de estas se crea la descripción general del sistema y se especifica los requerimientos funcionales, no funcionales y sus casos de uso. Posteriormente en la sección 3.2.7 se detalla la construcción del sistema software de control, basado en la forma tradicional para realizar el cálculo de soluciones nutritivas y el otro un sistema difuso este será el encargado de recibir los datos de las variables de temperatura, humedad, potencial hidrogeno (PH) y conductividad eléctrica (EC) del sistema hidropónico automatizado.

3.2. Descripción general del sistema

El sistema de control se basa en la construcción de un sistema difuso, el cual estará encargado de dar tratamiento a la información obtenida por los sensores (temperatura, humedad, potencial hidrogeno, conductividad eléctrica), que estarán transmitiendo en tiempo real y serán almacenadas en una base de datos, realizado el proceso de adquisición el sistema difuso arroja una salida, la cual será el requerimiento base de nutrientes a suplir, el requerimiento base se utilizará junto con la fórmula para calcular soluciones nutritivas para obtener la cantidad necesaria de fertilizantes que se debe introducir en el agua de soluciones nutritivas del cultivo de fresa.

El sistema se encargará de monitorear todas las variables y notificará al usuario cada vez que alguno de los valores de las variables no cumpla con el rango establecido, a continuación, se detalla la arquitectura del sistema en la figura 22.

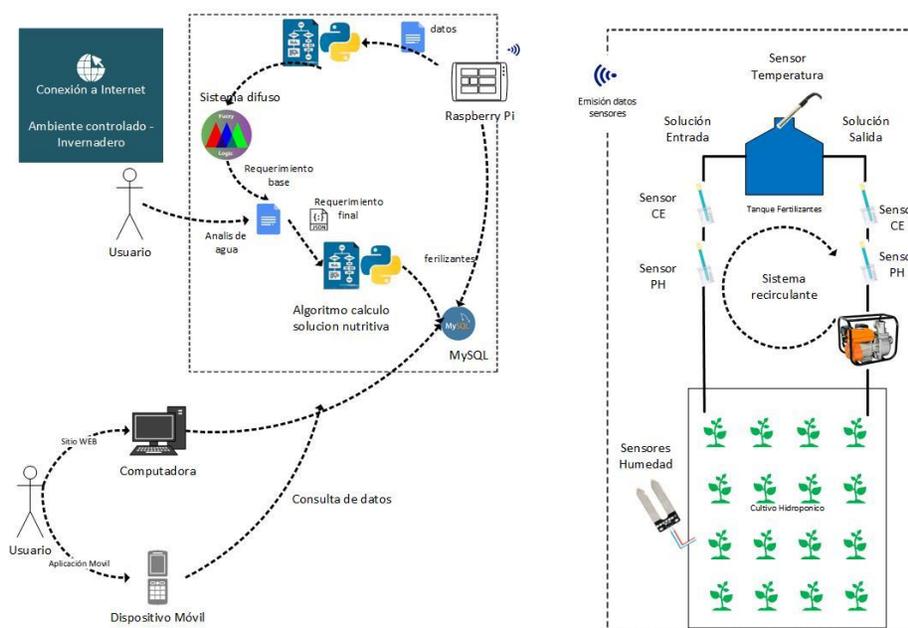


Figura 22. Descripción general del sistema

3.2.1. Requerimientos Funcionales

- El sistema receptara los datos enviados por los sensores que se almacenaran en una base de datos.
- El sistema creará los grupos de variables de entrada y salida (Temperatura, humedad, potencial hidrogeno, conductividad eléctrica) para formar los conjuntos difusos.
- El sistema asignará valores a los rangos de las funciones de membresía de los conjuntos difusos.
- El sistema asignará las reglas difusas en base a los valores de pertenencia de las funciones de membresía de los conjuntos difusos.
- El sistema emitirá el requerimiento de nutrientes, como resultado de la salida difusa
- El sistema realizará el cálculo de la solución nutritiva

- El sistema notificará al usuario la cantidad de solución nutritiva que deberá aplicar sobre el cultivo

3.2.2. Requerimientos No Funcionales

- Diseño de una interfaz sencilla y con alta usabilidad.
- Software optimizado, alto rendimiento, procesos con bajos requerimientos de hardware.
- Conexión a internet

3.2.3. Diagrama de casos de uso

Los casos de uso son una técnica para especificar el comportamiento del software, describen, que hace el software, no como lo hace. “Un caso de uso es una secuencia de interacciones, y produce un valor para un actor particular” (definición en UML).

a. Caso de Uso General

El siguiente diagrama nos muestra el caso de uso general del sistema y cómo los actores interactúan en él (figura 23).

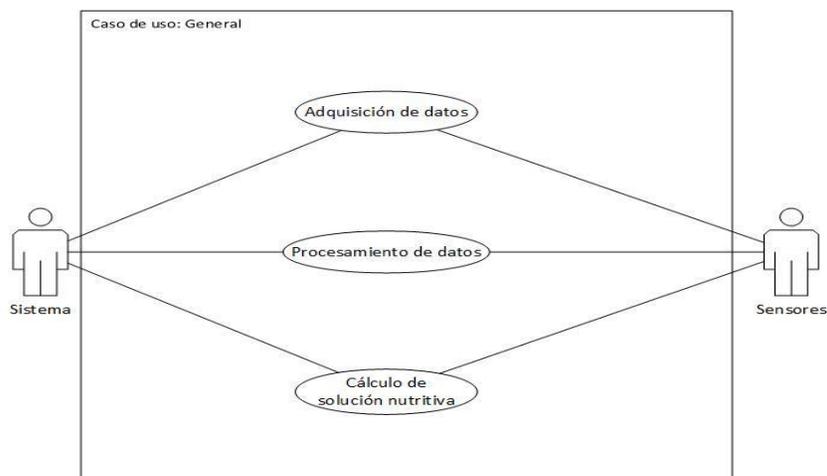


Figura 23. Caso de uso general

b. Casos de Uso Específicos

A continuación, se detalla cada una de las funcionalidades del Caso de Uso General, además de la especificación de casos de uso:

a. Caso de Uso de adquisición de datos.

Tabla 7.

Caso de uso específico: Adquisición de datos

Especificación de caso de Uso: Adquisición de datos	
Id:	1
Breve descripción:	Adquisición de datos por parte de los sensores y el sistema.
Actores Primarios:	Sistema, sensores, base de datos, usuario.
Precondiciones:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los sensores deben estar calibrados. 2. El sistema debe estar conectado a la red 3. Los sensores deben estar conectados al sistema
Flujo principal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conexión establecida a Internet 2. Envío de datos por parte de los sensores 3. Recepción de datos por parte del sistema 4. Envío de alerta al usuario 5. Instancia base de datos 6. Adquisición de datos 7. El sistema almacena los datos
Post-condiciones:	Una vez que el sistema adquiera los datos emitidos por los sensores se procede a seguir con la fase de procesamiento.

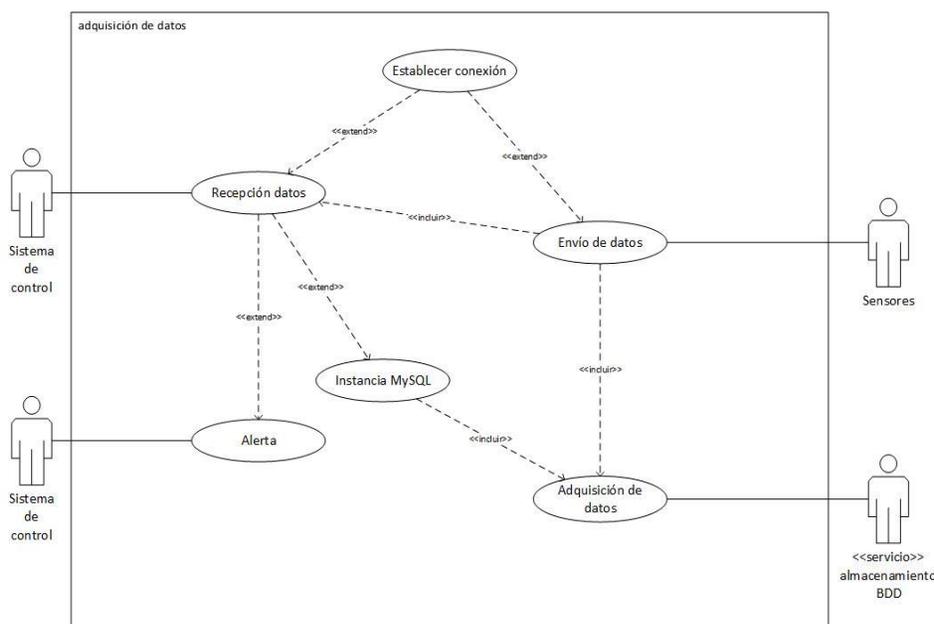


Figura 24. Caso de uso específico: adquisición de datos

b. Caso de uso procesamiento de datos

Tabla 8.

Caso de Uso: Procesamiento de datos

Caso de Uso: Procesamiento de datos	
Id:	2
Breve descripción:	El sistema adquiere los valores emitidos por los sensores y los procesa, para posteriormente condicionar los mismos.
Actores Primarios:	Sistema de control, sistema difuso.
Precondiciones:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema debe estar conectado a la red. 2. Los sensores deben estar conectados al sistema 3. Se debe adquirir los datos previamente
Flujo principal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema adquiere los datos 2. El sistema da tratamiento a los datos 3. El sistema valida los datos 4. Asignar valores de entrada a los conjuntos difusos 5. Asignación de valores a las funciones de membresía. 6. Asignación reglas difusas en base a las funciones de membresía. 7. Inferencia difusa 8. Salida requerimiento de nutrientes.
Post-condiciones:	El sistema deberá proceder al cálculo de la solución nutritiva.

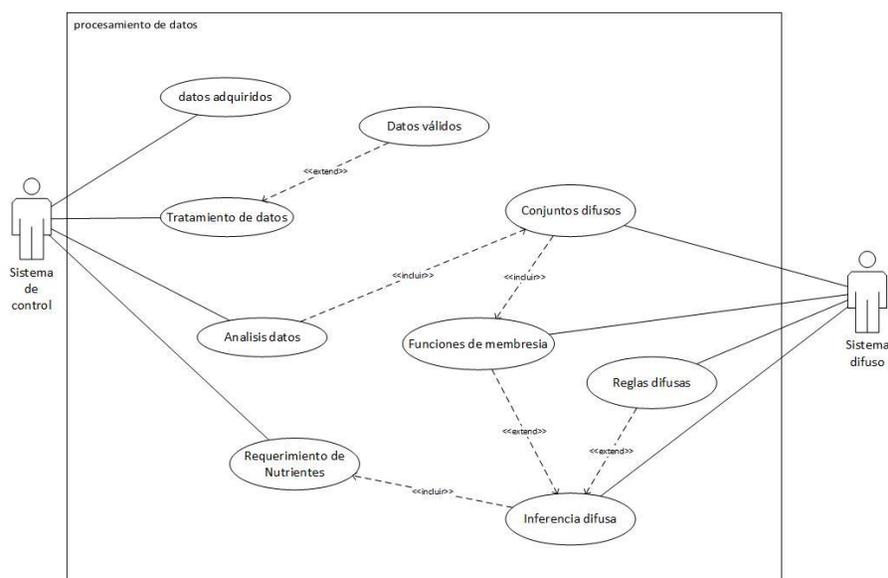


Figura 25. Caso de Uso: Procesamiento de datos

c. Caso de uso cálculo de solución nutritiva

Tabla 9.

Caso de Uso: Cálculo de solución nutritiva

Caso de Uso: Cálculo de solución nutritiva	
Id:	3
Breve descripción:	Una vez realizado el tratamiento de datos por medio de la lógica difusa de manera precisa, se procede a realizar el cálculo de solución nutritiva
Actores Primarios:	Sistema, usuario.
Precondiciones:	1. El sistema deberá obtener el requerimiento de nutrientes para proceder a realizar el cálculo de solución nutritiva
Flujo principal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema recibe el requerimiento de nutrientes 2. El sistema genera un nuevo requerimiento de nutrientes a suplir 3. El Sistema realiza el cálculo de la solución nutritiva 4. El usuario visualiza la cantidad de nutrientes a aplicarse dentro del cultivo hidropónico 5. Se almacena en la base de datos la cantidad de nutrientes aplicada
Post-condiciones:	El sistema notifica al usuario cuánto de solución nutritiva debe aplicar en el cultivo hidropónico.
Flujos Alternativos:	Ninguno.

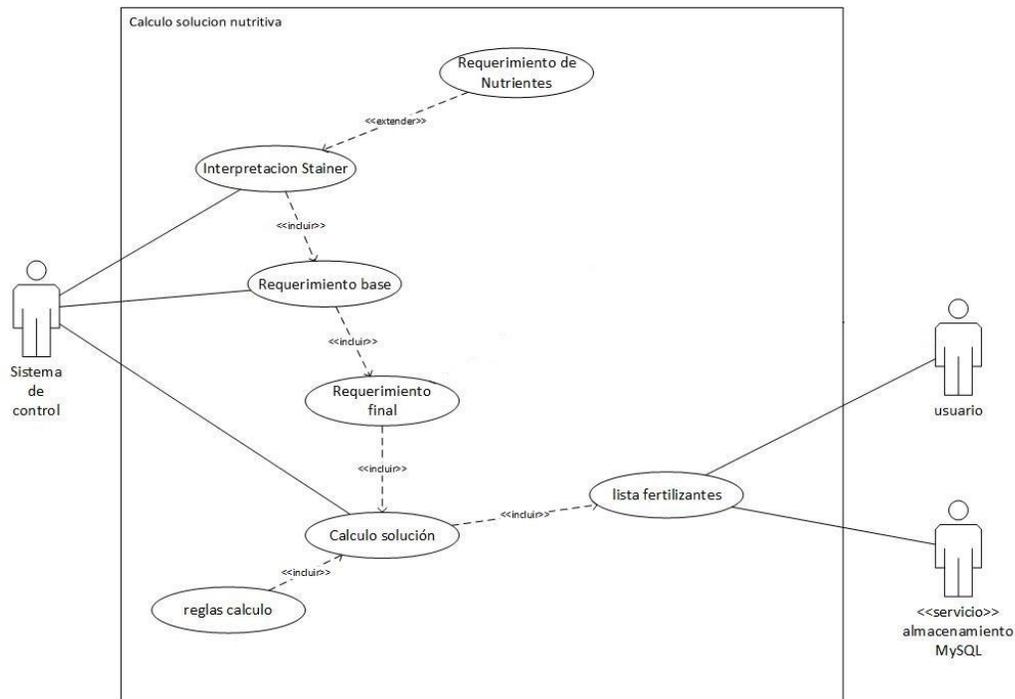


Figura 26. Caso de Uso: Cálculo de solución nutritiva

3.2.4. Diseño de la base de datos

a. Diagrama de clases.

Los diagramas de clases, que trazan la estructura de un sistema concreto al modelar sus clases, atributos, operaciones y relaciones entre objetos. En la figura 27 se muestra el diagrama de clases del sistema software de control.

Con fin de continuar con el proceso de desarrollo de software productivamente y con el fin de conseguir satisfacción del usuario, se realizó una jornada de validación y aprobación del diagrama de clases por parte del experto y del cliente indistintamente como se puede observar en el (Anexo 3)

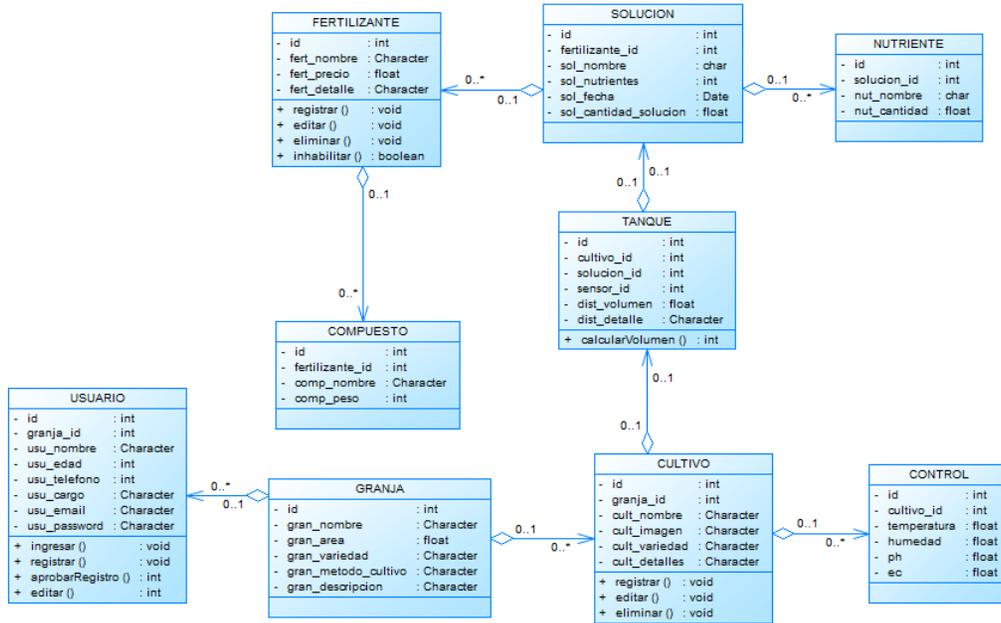


Figura 27. Diagrama de clases

b. Diagrama de secuencia.

Los diagramas propuestos muestran la interacción del sistema en el tiempo están representadas como flechas desde la línea de vida origen hasta la línea de vida destino en la figura 28 se muestra el diagrama de secuencia para la adquisición de datos.

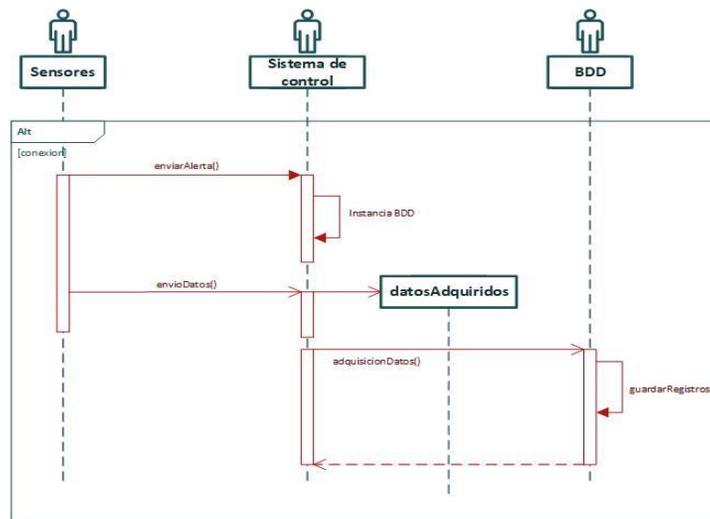


Figura 28. Adquisición de datos

Implementación del diagrama de secuencia para el procesamiento de datos por medio del sistema difuso. Ver figura 29:

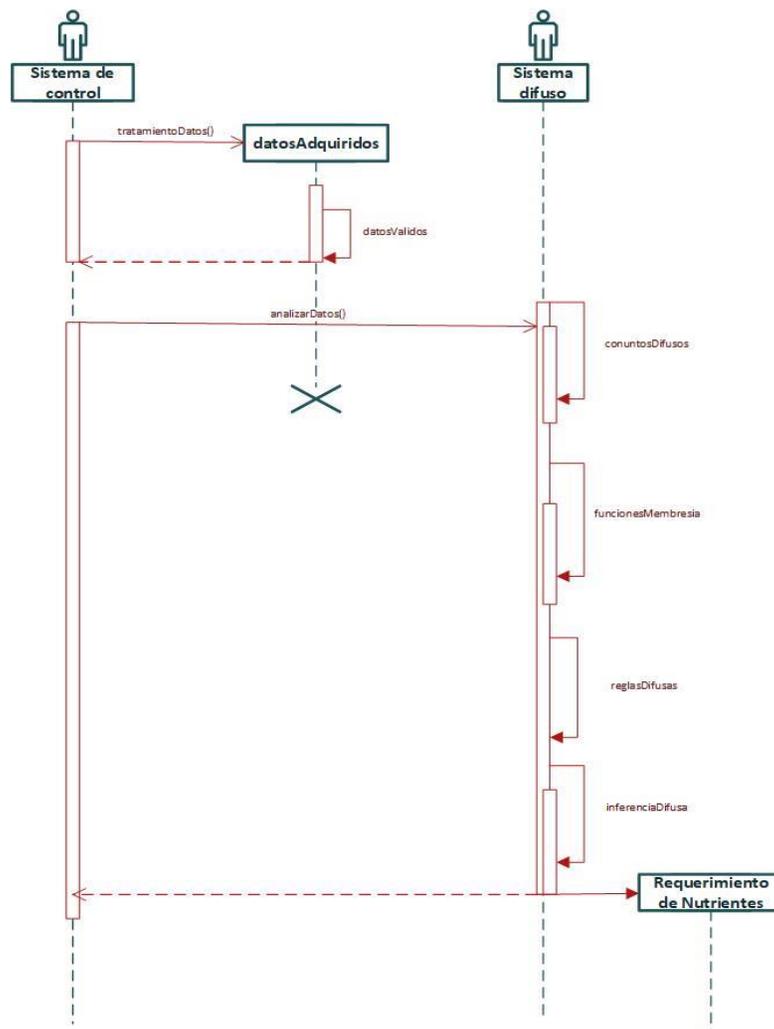


Figura 29. Procesamiento de datos

Implementación del diagrama de secuencia para el cálculo de la solución nutritiva en base al requerimiento de nutrientes como resultado de la salida difusa (figura 30).

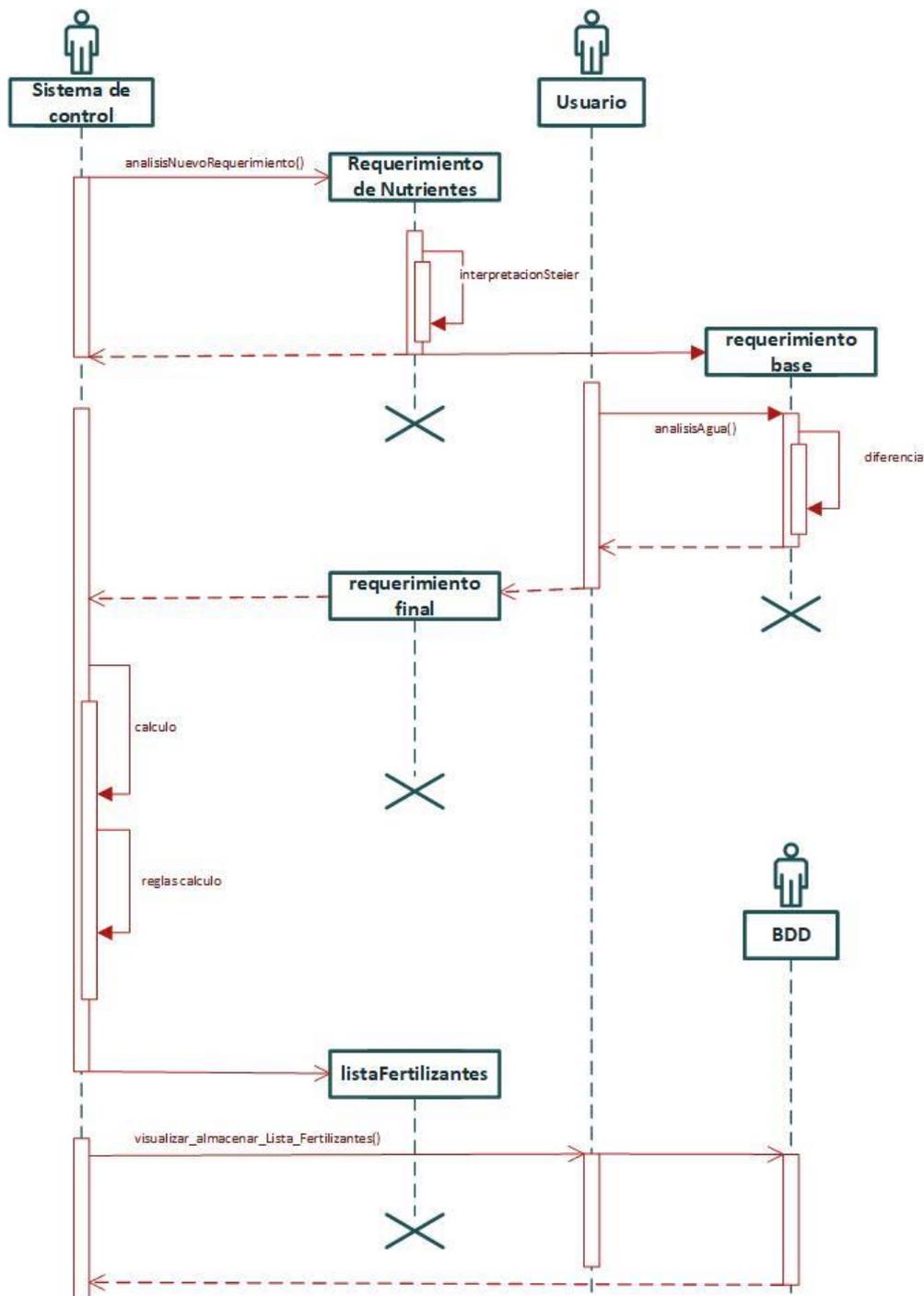


Figura 30. Cálculo de solución nutritiva

3.2.5. Diseño de la interfaz de usuario

La interfaz de usuario se realizó en base al Mapa Mental del mismo, sin descuidar los diferentes tipos de usuarios que analiza la usabilidad con sus propiedades, su resultado, se muestra en la figura 31.

En cada una de las interfaces diseñadas tenemos presente que el usuario debe centrarse en su tarea y no en la aplicación, por eso como autores del diseño se persigue concentrar las energías en la línea de negocio y sin embargo no tenemos un formato que requiere despliegue mínimo.

a. Panel de control

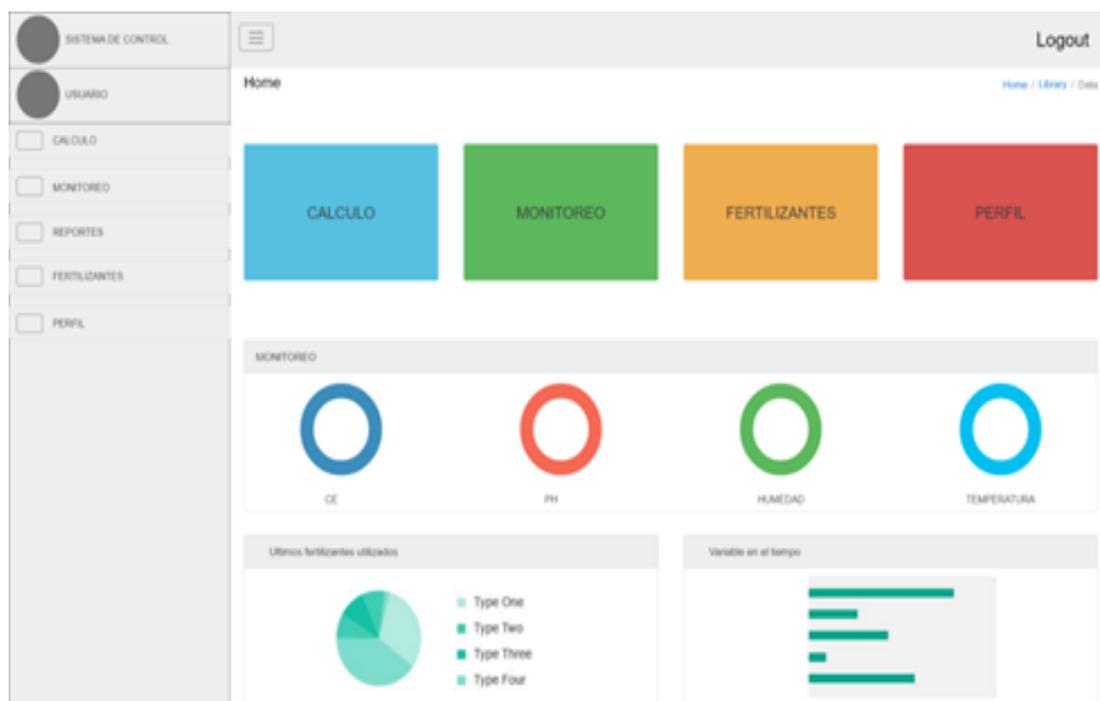


Figura 31. Panel de control

El diseño de la interfaz panel de control cuenta con los siguientes elementos:

- Una barra lateral posicionada en el lado izquierdo que contiene 5 elementos de tipo botón los cuales son:

- cálculo
- monitoreo
- fertilizantes
- perfil
- Dentro de la pantalla se visualizan los siguientes elementos:
 - *Primer contenedor horizontal* en el cual se encuentran cuatro elementos para acceso rápido de tipo botón-imagen:(cálculo, monitoreo, fertilizantes, perfil)
 - *Segundo contenedor horizontal* en el cual se encuentran cuatro elementos para monitoreo de las variables de tipo dona: (conductividad eléctrica, pH, humedad, temperatura)
 - *Tercer contenedor horizontal* en el cual se encuentran dos elementos de tipo estadísticos:
 - gráfico tipo pie mostrando los fertilizantes utilizados
 - gráfico tipo barras mostrando información sobre las variables

b. Cálculo de solución nutritiva

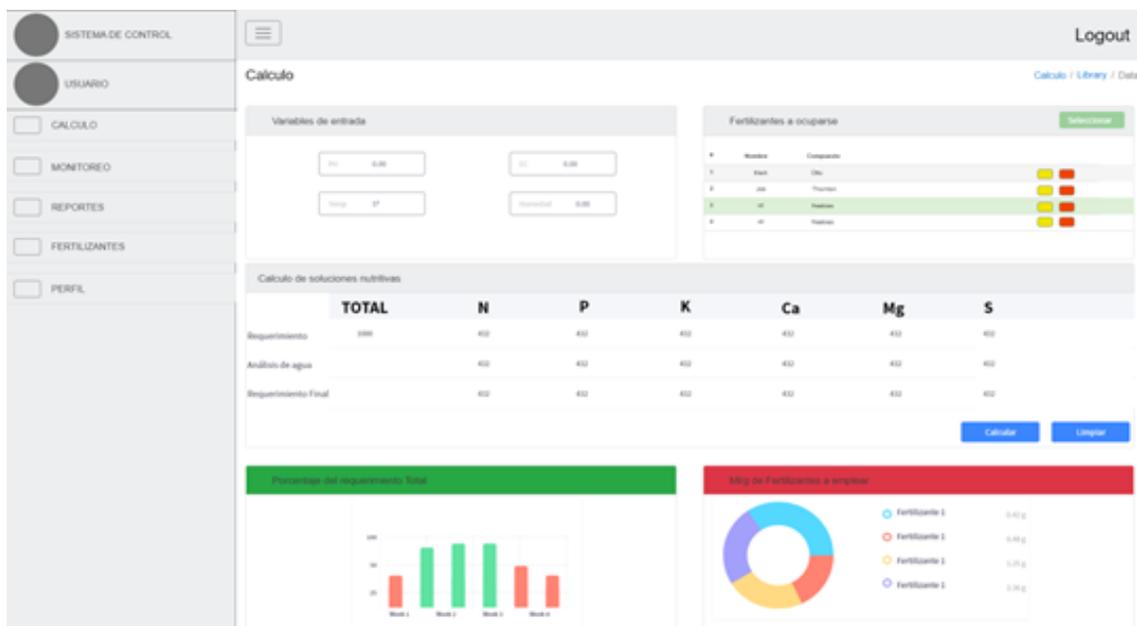


Figura 32. Cálculo de solución nutritiva

El diseño de la interfaz cálculo de solución nutritiva cuenta con los siguientes elementos:

- Dentro de la pantalla se visualizan los siguientes elementos:
 - *Primer contenedor horizontal* en el cual se encuentran dos elementos:
 - Primer elemento el cual contiene etiquetas junto con el valor de cada variable
 - Segundo elemento el cual contiene una lista de fertilizantes
 - *Segundo contenedor horizontal* en el cual se encuentra una tabla la cual contiene:
 - Primera fila se encuentran los nombres de los nutrientes
 - Segunda fila se encuentra el requerimiento base
 - Tercera fila se encuentra el análisis de agua
 - Cuarta fila se encuentra el requerimiento final
 - Quinta fila se encuentran dos botones: calcular, limpiar
 - *Tercer contenedor horizontal* en el cual se encuentran dos elementos
 - Gráfico de tipo barras verticales que indican el porcentaje de solución nutritiva
 - Gráfico de tipo pie el cual contiene la cantidad de fertilizantes del cálculo.

c. Monitoreo y control

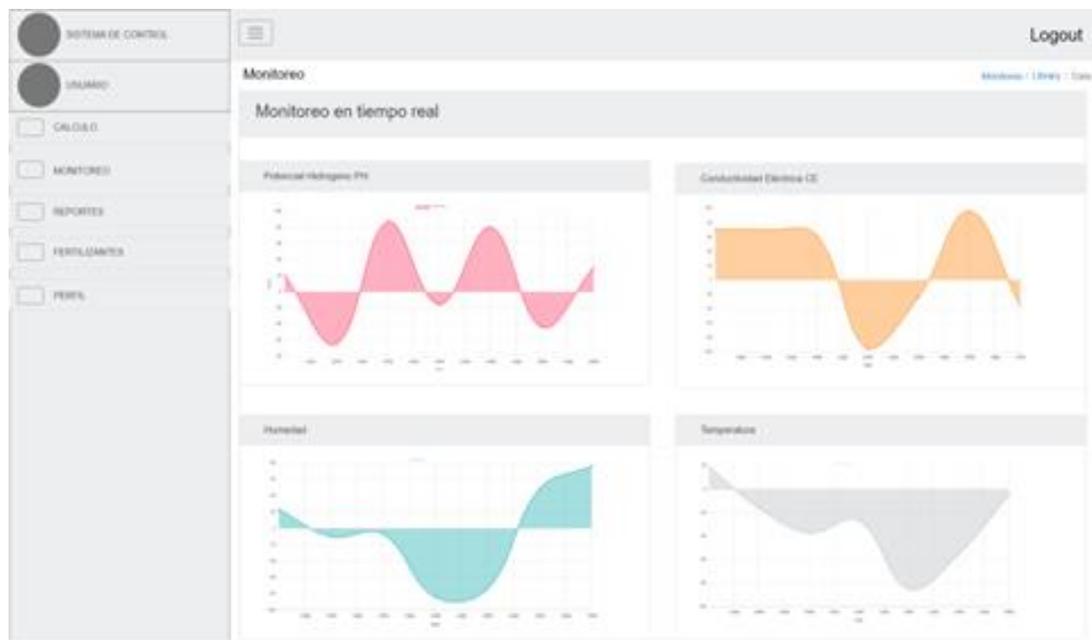


Figura 33. Monitoreo y control

El diseño de la interfaz monitoreo cuenta con los siguientes elementos:

- Dentro de la pantalla se visualizan los siguientes elementos:
 - *Gráfico superior izquierdo de tipo lineal para la variable de potencial hidrógeno (pH)*
 - *Gráfico superior derecho de tipo lineal para la variable de conductividad eléctrica (CE)*
 - *Gráfico inferior izquierdo de tipo lineal para la variable de humedad*
 - *Gráfico inferior derecho de tipo lineal para la variable de temperatura*

d. Monitoreo remoto



Figura 34. Monitoreo Remoto

El diseño de la interfaz monitoreo para la aplicación móvil cuenta con los siguientes elementos:

- Una barra horizontal la cual contiene cuatro etiquetas de navegación:
 - *Solución nutritiva*
 - *Variables de entrada:* temperatura, humedad, potencial hidrogeno
 - *Variables de salida:* conductividad eléctrica
 - *Notificaciones*
- Un contenedor horizontal que contiene los datos de las variables con su respectivo valor

- *Un gráfico tipo lineal muestra la cantidad de solución nutritiva aplicada y el día de su aplicación*

e. Solución Nutritiva

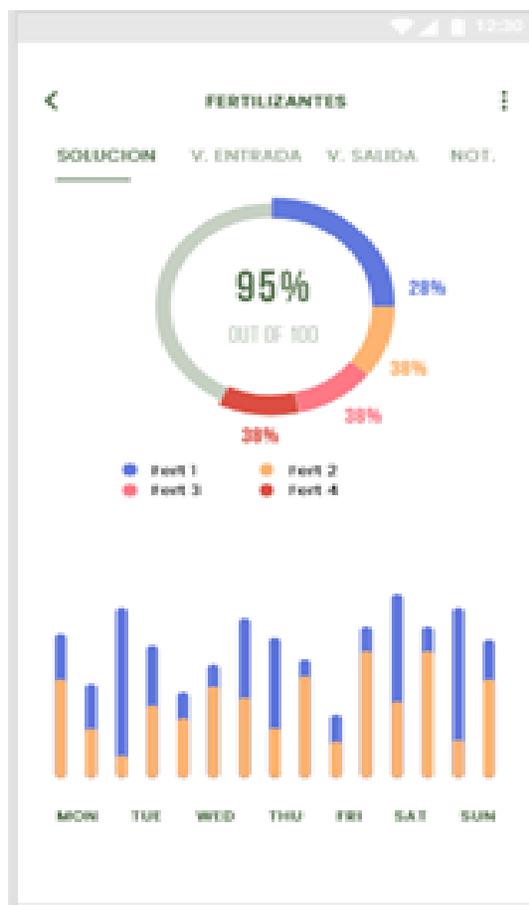


Figura 35. Solución nutritiva

El diseño de la interfaz soluciones (figura 35) para la aplicación móvil cuenta con los siguientes elementos:

- Un contenedor principal el cual cuenta con los siguientes elementos:
 - *En el centro de la figura tipo dona una etiqueta la cual muestra el porcentaje de solución nutritiva.*
 - *En los exteriores el porcentaje de las cantidades de nutrientes que satisfacen al requerimiento.*

- *En la parte inferior se muestra las etiquetas con los nombres de los fertilizantes y las cantidades.*
- Un contenedor secundario con los siguientes elementos:
 - *Un gráfico con días de la semana que muestra el porcentaje de solución nutritiva aplicada*

f. Notificaciones



Figura 36. Notificaciones

El diseño de la interfaz notificaciones (figura 36) para la aplicación móvil cuenta con los siguientes elementos:

- Una lista que muestra las notificaciones emitidas por el sistema:
 - Alertas de las variables fuera de rango

- Alerta de solución nutritiva generada

Con fin de continuar con el proceso de desarrollo de software productivamente y en post de conseguir satisfacción del usuario, se realizó una jornada de validación y aprobación de la interfaz por parte del experto y del cliente indistintamente como se puede observar en el (Anexo 4).

3.2.6. Arquitectura del modelo

La arquitectura general del Sistema Difuso es de tipo Mamdani, el cual consta de cuatro partes principales, el fuzzificador, base de reglas difusas con su mecanismo de inferencia lógica y el defuzzificador. (Figura 37).

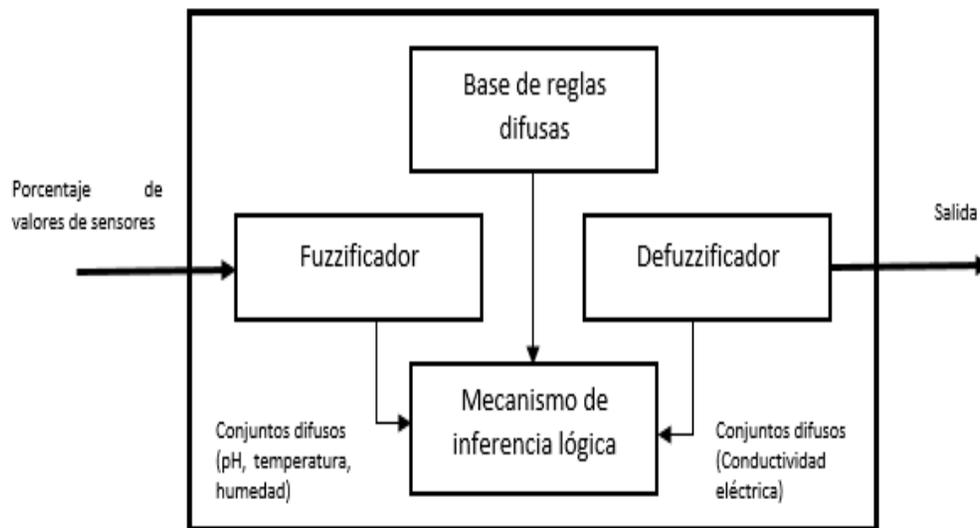


Figura 37. Arquitectura General del Sistema Difuso

Dentro del cultivo hidropónico se plantea el siguiente modelo para el sistema difuso, donde una vez calibrados los sensores (1), se adquiere los valores independientemente tanto de temperatura, humedad y potencial hidrógeno (PH), estos datos se convierten en las entradas del sistema difuso (2), donde basados en los cambios físicos - ambientales

se genera la salida del sistema difuso que es el requerimiento de nutrientes a suplir. (figura 38).

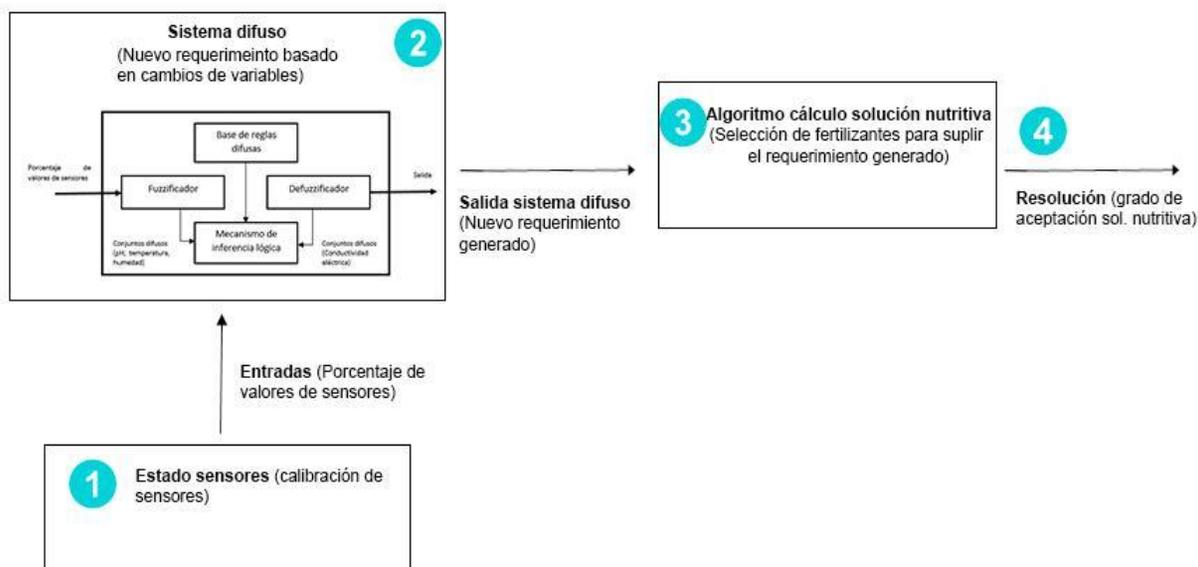


Figura 38. Modelo del sistema difuso. (1) Estado sensores – Entrada del sistema difuso, (2) Sistema difuso, (3) Cálculo solución nutritiva, (4) Resolución

El requerimiento de nutrientes generado por el sistema difuso pasa a ser la entrada para el algoritmo cálculo de solución nutritiva (3), donde el sistema selecciona los fertilizantes almacenados en la base de datos, combinando la fórmula para calcular soluciones nutritivas y los fertilizantes más aptos para suplir el requerimiento generado, una vez realizado el cálculo de solución nutritiva se visualizará dentro del sistema el porcentaje de aceptación de la misma (4)

3.2.7. Construcción Sistema difuso

El sistema difuso analiza los valores de las variables del cultivo hidropónico para obtener un nuevo valor y generar un requerimiento de nutrientes buscando un equilibrio nutricional dentro de la planta, la figura 39 describe el proceso donde se asignan grupos de variables de cambios que son los conjuntos difusos y los rangos de las funciones de

membresía para los antecedentes y consecuentes de cada grupo, después se definen las reglas difusas para cada caso del sistema difuso. La inferencia difusa procesa los datos para obtener el nuevo valor de salida que se interpretará como el nuevo requerimiento de nutrientes. Para el proyecto se utilizó una librería científica de Python llamada 'Scikit-Fuzzy', la cual permite crear sistemas difusos determinando las funciones de membresía y las reglas difusas.

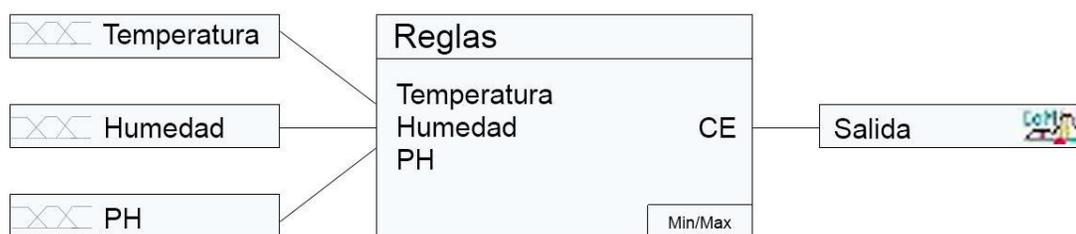


Figura 39. Estructura General del Modelo

a. Creación de las funciones de membresía.

Se basó en los conocimientos y experiencia operativa del experto (Ing. agrónomo) para crear los grupos de variables para las entradas del sistema difuso, se determinaron 3 grupos, que pueden variar dependiendo el estado de la planta dentro del cultivo hidropónico. Las variables de los grupos se encuentran relacionados y ordenados en base a los factores que influyen en el aporte nutricional del cultivo, estos proporcionan el nuevo requerimiento de nutrientes, a partir de las variables mencionadas se crea los antecedentes (temperatura, humedad, potencial hidrogeno) y sus funciones de membresía, de igual manera para el consecuente (conductividad eléctrica).

Temperatura

La temperatura es un factor que incide en el consumo de nutrientes y crecimiento de la planta, según las condiciones en las que se exponga. Cabe recalcar que en temperaturas bajas la planta crece con lentitud y en temperaturas demasiado altas la

planta de sus recursos para sobrevivir, para este caso la temperatura adecuada de la fresa para nuestro caso es: 19 a 21 [°C].

Para bajar la temperatura se activa el oxigenador dentro del tanque de soluciones nutritivas y para elevarla contaremos con la temperatura del invernadero que oscila entre 18 a 21 [°C].

La figura 41 se muestra la función de membresía de temperatura, por ser la primera etapa el valor “deseado” es pequeño para que active el oxigenador si la temperatura no es de 19 [°C]. Dentro de la tabla 10 se muestran los rangos de la función de membresía para los que debe actuar el sistema.

Tabla 10.

Rangos de la función de membresía (temperatura)

Variable lingüística (Temperatura)	Salida	Rango
frío	18	valor salida < 19
deseado	19	valor salida ≤ 20
caliente	21	valor salida > 20

$$\begin{aligned} \text{Temperatura}_{frio} &= \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{19.5 - \text{valor}}{19.5 - 18}\right) \\ 1 \end{cases} \\ \text{Temperatura}_{deseado} &= \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 19}{20 - 19}\right) \\ \left(\frac{21 - \text{valor}}{21 - 20}\right) \\ 0 \end{cases} \\ \text{Temperatura}_{caliente} &= \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 20.5}{22 - 20.5}\right) \\ 1 \end{cases} \end{aligned}$$

Ecuación 8. Temperatura

Para el caso de la antecedente temperatura se plantean 3 funciones de membresía que cumplen los rangos descritos en las fórmulas anteriores. Para la función frío y caliente se utilizará la función trapezoidal, para la función deseada se utilizará la función triangular (figura 40).

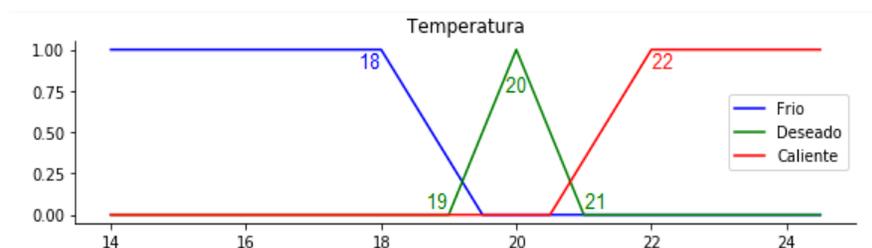


Figura 40. Funciones de Membresía Temperatura

Humedad

Una buena humedad permite a la fresa transpirar y evita la presencia de ciertas enfermedades por exceso de humedad.

La humedad adecuada para este caso será: 60 - 80 %, niveles altos de humedad elevan las posibilidades de presencia de hongos y no permite la transpiración en la planta y bajos niveles indican que requiere de solución nutritiva.

Además, al reducir la humedad disminuye la cantidad de agua dentro del sustrato utilizado, de esta forma el actuador para realizar una solución nutritiva se activará, permitiendo regular la humedad dentro del cultivo, dentro de la tabla 11 se muestran los rangos de dicha función.

Tabla 11.

Rangos de la función de membresía (humedad)

Variable lingüística (Humedad)	Salida	Rango
Bajo	0 – 65	$0 \leq \text{valor salida} \leq 65$
Deseado	55 – 85	$55 \leq \text{valor salida} \leq 85$
Alto	75 – 100	$75 \leq \text{valor salida} \leq 100$

$$\text{Humedad}_{frio} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{65 - \text{valor}}{65 - 45}\right) \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{Humedad}_{deseado} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 55}{60 - 55}\right) \\ 1 \\ \left(\frac{85 - \text{valor}}{95 - 80}\right) \\ 0 \end{cases}$$

$$\text{Humedad}_{caliente} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 75}{95 - 75}\right) \\ 1 \end{cases}$$

Ecuación 9. Humedad

Para el caso de la antecedente humedad se plantean 3 funciones de membresía que cumplen los rangos descritos en las fórmulas anteriores. Para la función bajo, deseado y alto se utilizará la función trapezoidal (figura 41).

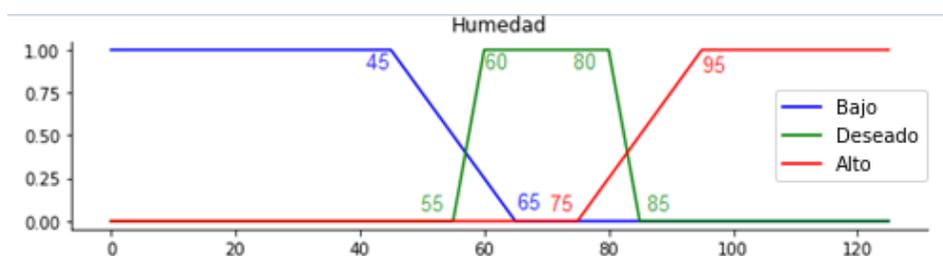


Figura 41. Funciones de Membresía Humedad

Potencial hidrogeno PH

El control de pH en la solución nutritiva permite la disponibilidad y absorción de nutrientes de manera que se lleva a cabo dentro de un rango definido, para nuestro caso será de 5.0 a 6.5 de pH. Al permanecer en este rango se mejora el crecimiento de las fresas. Cuando el pH es superior a 7 la fresa puede resultar en desnutrición porque no absorbe algunos nutrientes; valores menores de pH presenta los mismos efectos que

valores superiores, los valores de pH en fresas fueron establecidos en base al conocimiento del experto agrónomo por ser los más óptimos. Se menciona de igual manera que si la planta llega a vivir en valores superiores de pH presenta un crecimiento lento.

Experimentalmente se ha determinado que el valor de pH en sistemas de raíz flotante tiende a subir al pasar las semanas, pensamos que se debe al mayor consumo de agua que de nutrientes por parte de las plantas y además la evaporación por la incidencia del sol, es por ello que se adiciona más agua para mantener los niveles de conductividad eléctrica.

En la función de membresía de pH (figura 42) los valores donde se consideran bajo y alto, fueron definidos con base en el conocimiento del experto agrónomo, en la (tabla 12) se pueden observar los rangos propuestos para la función de membresía de pH.

Tabla 12.

Rangos de la función de membresía (pH)

Variable lingüística (pH)	Salida	Rango
Bajo	0 - 5.5	$0.0 \leq \text{valor salida} \leq 5.5$
Deseado	5.0 - 6.5	$5.0 \leq \text{valor salida} \leq 6.5$
Alto	6.0 - 8.0	$6.0 \leq \text{valor salida} \leq 8.0$

$$\text{pH}_{frio} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{5.3 - \text{valor}}{5.3 - 4.5} \right) \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{pH}_{deseado} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 5.0}{5.5 - 5.0} \right) \\ 1 \\ \left(\frac{6.5 - \text{valor}}{6.5 - 6.0} \right) \end{cases}$$

$$\text{pH}_{\text{caliente}} = \begin{cases} 0 & \\ \left(\frac{\text{valor} - 6.2}{7.0 - 6.2} \right) & \\ 1 & \end{cases}$$

Ecuación 10. pH

Para el caso del antecedente pH se plantean 3 funciones de membresía que cumplen los rangos descritos en las fórmulas anteriores. Para la función bajo, deseado y alto se utilizará la función trapezoidal.

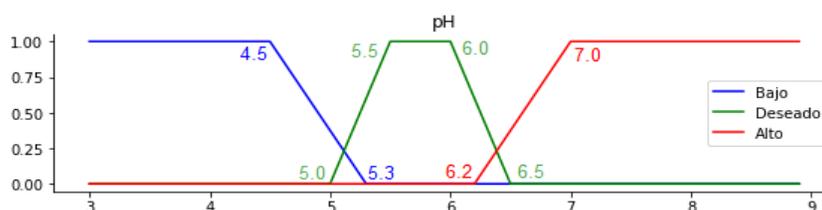


Figura 42. Funciones de Membresía pH

Conductividad eléctrica CE

La conductividad eléctrica en el agua de solución es una medida indirecta de la concentración de nutrientes diluidos en el agua. La fresa en su crecimiento consume estos nutrientes y por ende cambia el valor de conductividad eléctrica.

Para este caso, nuestro rango adecuado de conductividad eléctrica en el cultivo de fresa será de 1.0 a 2.5 [mS].

La importancia en el control de la conductividad eléctrica es porque valores menores a éste, son considerados falta de nutrientes y desnutrición, pero niveles altos de conductividad eléctrica pueden causar deshidratación de la fresa.

Por conocimiento del experto agrónomo el nivel de conductividad eléctrica tiende a aumentar porque las plantas absorben más agua que nutrientes, este valor sigue aumentando hasta adicionar agua para mantener el pH (tabla 13).

Tabla 13.*Rangos de la función de membresía (conductividad eléctrica)*

Variable lingüística (CE)	Salida	Rango
bajo	1.0 - 1.5	$1.0 \leq \text{valor salida} \leq 1.5$
deseado	1.4 - 2.0	$1.4 \leq \text{valor salida} \leq 2.0$
alto	1.9 - 3.0	$1.9 \leq \text{valor salida} \leq 3.0$

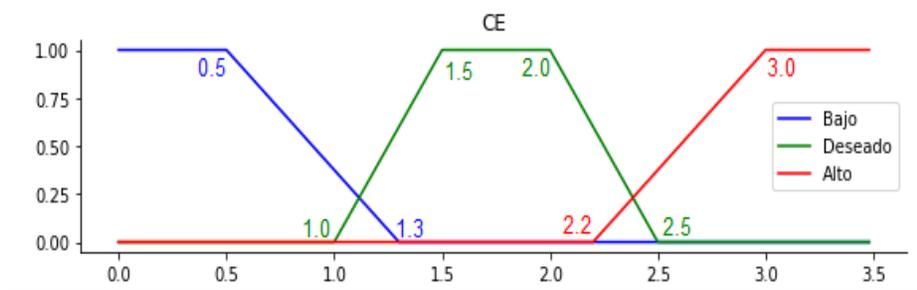
$$\text{Conductividad eléctrica}_{\text{bajo}} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{1.3 - \text{valor}}{1.3 - 0.5} \right) \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{Conductividad eléctrica}_{\text{deseado}} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 1.0}{1.5 - 1.0} \right) \\ 1 \\ \left(\frac{2.5 - \text{valor}}{2.5 - 2.0} \right) \\ 0 \end{cases}$$

$$\text{Conductividad eléctrica}_{\text{alto}} = \begin{cases} 0 \\ \left(\frac{\text{valor} - 2.2}{3.0 - 2.2} \right) \\ 1 \\ 0 \end{cases}$$

Ecuación 11. Conductividad Eléctrica

Para el caso del consecuente conductividad eléctrica se plantean 3 funciones de membresía que cumplen los rangos descritos en las fórmulas anteriores. Para la función bajo, deseado y alto se utilizará la función trapezoidal (figura 43).

**Figura 43.** Funciones de membresía conductividad eléctrica

b. Creación de reglas difusas

La base de conocimiento está compuesta por una serie de reglas difusas definidas con la ayuda de experto agrónomo en base a las funciones de membresía creadas previamente. En función de las reglas expuestas se opta por trabajar con la regla 1:

Regla₁ = si Temperatura *deseado* Y Humedad *bajo* Y Ph *deseado* entonces Conductividad Eléctrica *deseado*

Regla₂ = si Temperatura *caliente* Y Humedad *bajo* Y Ph *deseado* entonces Conductividad Eléctrica *deseado*

Regla₃ = si Temperatura *frio* Y Humedad *bajo* Y Ph *deseado* entonces Conductividad Eléctrica *bajo*

Regla₄ = si Temperatura *deseado* Y Humedad *bajo* Y Ph *alto* entonces Conductividad Eléctrica *alto*

Regla₅ = si Temperatura *deseado* Y Humedad *bajo* Y Ph *bajo* entonces Conductividad Eléctrica *bajo*

La interpretación de la regla1 es “cuando el porcentaje de temperatura pertenece a la función deseado, el porcentaje de humedad pertenece a la función baja y el porcentaje de pH pertenece a la función deseado entonces la salida será CE en el rango de la su función deseado”. Este proceso se repite para cada grupo de variables de cambio.

Con todas las reglas bien definidas (ver Anexo 7), el sistema difuso está listo para generar un nuevo requerimiento de nutrientes el cual será la entrada del cálculo de soluciones nutritivas.

c. Salida difusa

Con los rangos de las funciones de membresía tanto de los antecedentes como del consecuente definidas y en función de las reglas descritas en la sección anterior, el

sistema obtendrá el valor de salida aplicando la inferencia lógica y emitirá un valor numérico conocido como centroide o centro de masa de acuerdo a Mamdani.

En base a lo desarrollado se proponen las pruebas del sistema mediante un ejemplo, con valores emitidos por el sistema ya implementado; Los valores registrados son de temperatura: 19.3 (figura 44):

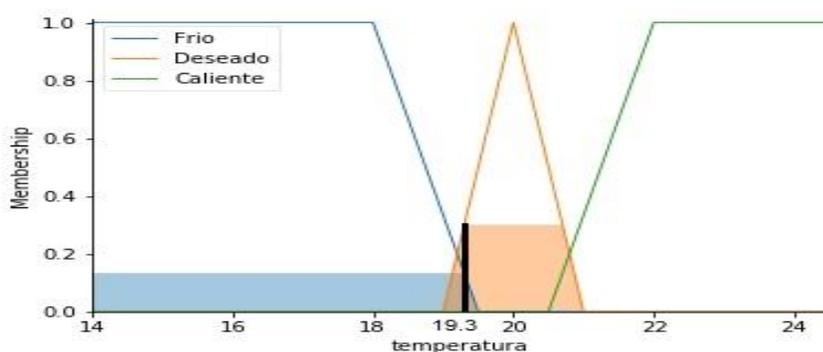


Figura 44. Variaciones de Temperatura

Humedad: 42.20% (figura 45):

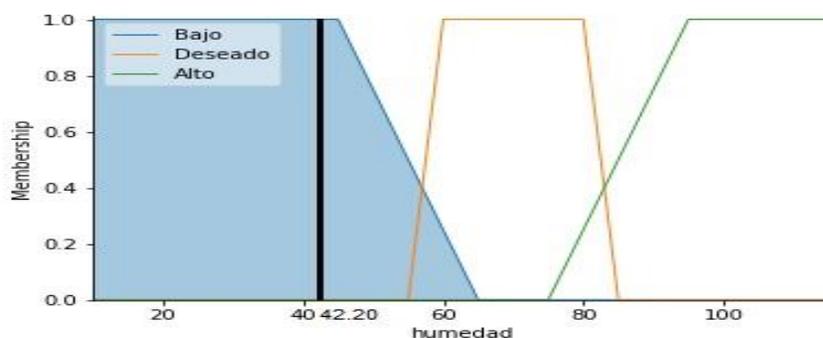


Figura 45. Variaciones de humedad

pH: 5.5, se evalúa cada valor para ver a que función de membresía pertenece y se resalta el grado de pertinencia que tienen (figura 48).

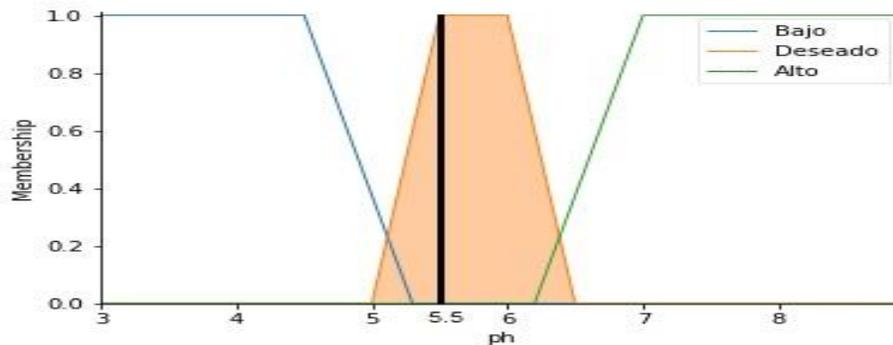


Figura 46. Variaciones de pH

En la (figura 46) se observa que la temperatura pertenece al valor 0.36 en la función deseado, la humedad pertenece al valor 1 en la función bajo y el ph pertenece al valor 1 en la función deseado, en base a los valores de pertenencia de estas tres funciones se aplica la regla para las variables:

Regla₁ = Si Temperatura_{deseado} Y Humedad_{bajo} Y Ph_{deseado} entonces Conductividad Eléctrica_{deseado}

La regla1 usa el operador 'y' por lo que se selecciona el valor de pertinencia mínimo 0,36 y se proyecta en la función de membresía deseado del consecuente conductividad eléctrica, el valor de salida es el centro de masa del área (centroide) obtenida, de acuerdo a Mamdani, para el caso el valor obtenido es 1.75 como se muestra en la figura 47.

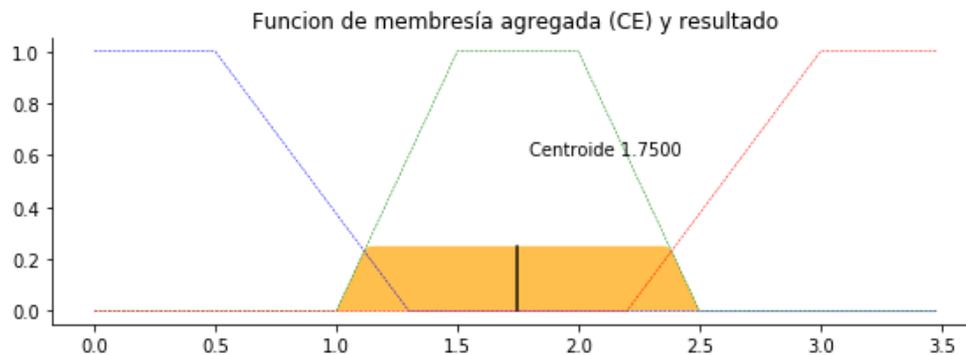


Figura 47. Función de membresía agregada

El valor de salida obtenido 1.75 pasa a ser la entrada al cálculo de nutrientes, como se indica en sección de reglas para el requerimiento de solución nutritiva, la salida es la esperada porque el requerimiento generado busca satisfacer la necesidad de la planta.

$$\text{Nitrógeno (N)} = \frac{1.75 * 168.15}{2} = 147$$

$$\text{Fósforo (P)} = \frac{1.75 * 31}{2} = 27$$

$$\text{Potasio (K)} = \frac{1.75 * 273}{2} = 239$$

$$\text{Calcio (Ca)} = \frac{1.75 * 180}{2} = 158$$

$$\text{Magnesio (Mg)} = \frac{1.75 * 48}{2} = 42$$

$$\text{Azufre (S)} = \frac{1.75 * 111.88}{2} = 98$$

Ecuación 12. Cálculo de salida de los nutrientes

Selección de fertilizantes para el requerimiento. Se agrupan los nutrientes generados y se los ordena de acuerdo al orden de nutrientes a suplir como se muestra en la tabla 14:

Tabla 14.

Concentración de nutrientes

Concentración de nutrientes					
Nitrógeno (N)	Fosforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)
147	27	239	158	42	98

Con estos valores y el grado de aporte de cada nutriente en el fertilizante como se muestra en la tabla 15, el sistema calcula el aporte de cada fertilizante en la planta por medio de reglas para el rendimiento de cultivo de cálculo de soluciones nutritivas.

Tabla 15.
Fertilizantes

Fertilizante	Grado de aporte de nutrientes					
	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)
Nitrato de calcio	15			17		
Nitrato de potasio	13		37			
Sulfato de potasio			44			
Sulfato de magnesio					10	13
Fosfato Monoamónico		21				

El grado de aporte de nutriente varia en cada fertilizante (ver Anexo 5). El sistema identificara el fertilizante con cada grado de aporte de nutrientes correspondiente y se calcula la cantidad de fertilizante que se debe aplicar y el total, para después realizar el cálculo del porcentaje de cada uno. A continuación, se muestra el cálculo para el ejemplo propuesto:

$$\text{ppmNitratoCalcio} = \left(\frac{158}{17}\right) * 100 = 929.41$$

$$\text{ppmN} = (929.41 * 15) / 100 = 139.41$$

$$\text{ppmN} = 147 - 139.41 = 7.59$$

$$\text{ppmNitratoPotasio} = \left(\frac{7.59}{13}\right) * 100 = 58.38$$

$$\text{ppmK} = (58.38 * 37) / 100 = 21.60$$

$$\text{ppmK} = 239 - 21.60 = 217.4$$

$$\text{ppmSulfatoPotasio} = \left(\frac{217.4}{44}\right) * 100 = 494.09$$

$$\text{ppmS} = (494.09 * 18) / 100 = 88.93$$

$$\text{ppmS} = 98 - 88.93 = 9.07$$

$$\text{ppmSulfatoMagnesio} = \left(\frac{42}{10}\right) * 100 = 420$$

$$\text{ppmS} = (420 * 13) / 100 = 54.6$$

$$\text{ppmFosfatoMonoamonico} = \left(\frac{27}{21}\right) * 100 = 128.57$$

$$\text{ppmS} = (128.57 * 3) / 100 = 3.85$$

Ecuación 13. Cálculo de ejemplo

Se obtiene la cantidad de solución nutritiva que se debe suministrar a la planta (tabla 16).

Tabla 16.

Solución nutritiva

Fertilizante	Cantidad	Unidad
Nitrato de calcio.	929.41	mg/L
Nitrato de potasio.	58.38	mg/L
Sulfato de potasio.	494.09	mg/L
Sulfato de Magnesio.	420	mg/L
Fosfato Monoamónico.	128.57	mg/L
Total:	2030.45	mg/L

Una vez calculados los requerimientos de cada macronutriente, y obtenida la cantidad de solución nutritiva se calcula el porcentaje de aporte nutricional de cada macronutriente como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17.

Aporte de nutrientes

Nutriente	Porcentaje de aporte
Nitrógeno (N)	100%
Fósforo (P)	100%
Potasio (K)	100%
Calcio (Ca)	100%
Magnesio (Mg)	100%
Azufre (S)	150.38%

Finalmente, la solución nutritiva es enviada al usuario mediante una notificación visualizándose el nombre del fertilizante, la cantidad que debe aplicar al cultivo y los

porcentajes de aportación nutricional de cada nutriente, luego de una serie de pruebas el sistema arroja la siguiente combinación de nutrientes, con sus respectivas cantidades según los diferentes días a los que fueron probados, hasta llegar a un promedio de cantidad de nutrientes menor en el sistema automatizado que en el sistema manual, como se observa en la tabla 18:

Tabla 18.

Cantidad de solución nutritiva

días	Cant. Solución Nutritiva (mg/L)			
	SHA	CE	SHM	CE
15	720	1.4	1057	1
30	826	1.44	1300	1.5
45	984	1.73	1405	1.5
60	1089	1.68	1774	2.5
75	878	1.56	1551	2
90	931	1.48	1669	2.5
105	1089	1.9	1450	3
120	1089	1.75	1880	2.5
135			1540	2.5
150			1440	1.5
PROMEDIO	7554	1.167	15066	2.05

En relación con la información que proyecta el sistema, en cuanto a la combinación de la solución nutritiva se visualiza en la figura 48:



Figura 48. Solución Nutritiva generada presentada al usuario

3.2.8. Pruebas unitarias

Con las pruebas unitarias se muestra el correcto funcionamiento de cada unidad de código obteniendo un resultado esperado. Si es igual, la prueba es exitosa, si no, falla. En la tabla 19 se identificaron los resultados las pruebas que aplicadas al sistema para verificar su correcto funcionamiento.

Tabla 19.

Check-List para pruebas funcionales

Elemento del caso de uso	Casos de prueba	CHECK (si, no)
Adquisición de datos.	¿El sistema de control está conectado a Internet? <ul style="list-style-type: none"> Al no estar conectado a Internet el sistema muestra un mensaje de desconexión Perdida de conexión encapsulada por excepción 	si
	¿Los sensores están conectados a Internet? <ul style="list-style-type: none"> Al no estar conectados a Internet los sensores buscan una reconexión a internet 	si

CONTINÚA 

	<p>¿Recepción de datos por parte del sistema de control?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objetos vacíos encapsulados por excepción • Objetos indefinidos encapsulados por excepción 	Si
	¿Envió de datos por parte de los sensores?	Si
	<p>¿Envío de alerta al usuario?</p> <ul style="list-style-type: none"> • El usuario recibe la notificación en el sitio web y dispositivo móvil 	Si
	<p>¿Existe una instancia base de datos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Múltiples instancias controladas por el patrón singleton 	Si
	<p>¿Se realiza la adquisición de datos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se guardan los registros en la base de datos retornando una verificación 	si
Procesamiento de datos	¿El sistema realizo la adquisición de datos?	si
	<p>¿El sistema da tratamiento a los datos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prueba con valores negativos 	si
	<p>¿Datos validos diferente de cero o nulos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Validado en la adquisición de datos • Control encapsulado por excepción 	si
	<p>¿Asignar valores de entrada a los conjuntos difusos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prueba con valores mínimos y máximos • Prueba con valores fuera del rango 	si
	<p>¿Asignación de valores a las funciones de membresía?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prueba con valores mínimos y máximos • Prueba con valores fuera del rango 	si
	<p>¿Asignación regla difusa en base a las funciones de membresía?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reglas asignadas manualmente • ¿Como resultado de la inferencia difusa se tiene el requerimiento de nutrientes? 	si
Solución nutritiva	<p>¿El sistema recibe el requerimiento de nutrientes?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atributo cero o nulo encapsulado por condicionamiento 	si
	<p>El sistema genera un nuevo requerimiento base a suplir</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento tipo 'Object' • Asignación valores fuera de lógica del atributo • Objeto nulo o indefinido encapsulado por excepción • Objeto vacío encapsulado por condicionamiento 	si
	<p>El usuario ingresa el análisis de agua No acepta cadena vacía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cadena acepta caracteres especiales y números 	si

CONTINÚA



El sistema evalúa el requerimiento final	si
<ul style="list-style-type: none"> • Asignación valores fuera del rango 	
El Sistema realiza el cálculo de la solución nutritiva óptima	si
<ul style="list-style-type: none"> • Atributos fuera de rango encapsulados por condicionamiento • Atributos nulos o indefinidos encapsulados por excepción • Objecto nulo o indefinido encapsulado por excepción • Listas nulas o indefinidas encapsuladas por excepción • Listas vacías encapsuladas por condicionamiento 	
El usuario visualiza la lista de fertilizantes a aplicarse dentro del cultivo hidropónico	si
<ul style="list-style-type: none"> • Lista vacía controlada por condicionamiento 	
Se almacena en la base de datos la lista de fertilizantes a aplicarse	si
<ul style="list-style-type: none"> • Verificación instancia con la base de datos 	

CAPÍTULO IV

VALIDACIÓN DEL SISTEMA SOFTWARE CONTROL

4.1. Introducción del capítulo

Este proceso de cultivo de fresa lo van llevando desde el 2002, en consecuencia, los actores en de cada actividad tienen vasta experiencia para obtener los frutos inmejorables que apoyan en nutrición efectiva del ser humano.

Una vez finalizado el desarrollo del sistema de control para mejorar el fluido de nutrientes, que permitan potenciar el cultivo de fresa dentro del cultivo hidropónico, se realizaron dos validaciones correspondientes que fueron probadas y validadas por el experto agrónomo, así como la entrega del sistema en la empresa “Asis-Agro” para su posterior aprobación.

- Validación de indicadores de calidad de la fresa
- Validación comparativa de cultivos
- Entrega y recepción
- Aceptación

4.1.1. Validación de indicadores de calidad de la fresa

Para el análisis de los indicadores de la fresa en relación con los tipos de soluciones nutritivas aplicadas, se trabajó con 60 plantas de las cuales 30 se utilizaron para el Sistema hidropónico automatizado (SHA) y las otras 30 se destinaron para Sistema hidropónico manual (SHM), de las cuales de estas se enviaron 10 muestras para ser analizadas, en la figura 49 se muestra el esquema para la distribución del cultivo hidropónico. Para valorar la calidad de la fresa en relación con la cantidad de solución nutritiva aplicada, y posteriormente medir los indicadores de calidad de la misma.



Figura 49. Estructura y distribución hidropónica

Solución nutritiva

En la tabla 20 se muestra la cantidad de solución nutritiva aplicada dentro ciclo de desarrollo de la fresa, se observa que se empezó a suministrar solución nutritiva a los 15 días, posteriormente se pudo observar que el porcentaje de consumo de solución es menor en el SHA por un 30% que el SHM obteniendo como resultado que en el SHA se aplica menos cantidad de fertilizante en comparación del SHM, a su vez podemos observar que la cantidad de solución nutritiva se dejó de aplicar en el SHA a los 120 días aumentando el progreso fenológico de la planta es decir disminuyo el tiempo de desarrollo. Con el desarrollo de la planta de fresa completo para los dos casos mencionados se procedió analizar la calidad del fruto maduro con los indicadores mencionados en la sección 2.1.2. literal e

Tabla 20.
Cantidad Solución Nutritiva

Cantidad Solución Nutritiva (mg/L)				
días	SHA	SHM	DIFERENCIA	%
15	720	1057	-337.0	32%
30	826	1300	-474.0	36%
45	984	1405	-421.0	30%
60	1037	1774	-737.0	42%

CONTINÚA



75	1089	1551	-462.0	30%
90	878	1669	-791.0	47%
105	931	1450	-519.0	36%
120	1089	1880	-791.0	42%
135		1540	-1540.0	100%
150		1440	-1440.0	100%
TOTAL	7554	15066	-7512.0	50%

En la figura 50 se demuestra que la cantidad de solución nutritiva que se utilizó en el sistema hidropónico automatizado es menor en aproximadamente un 50%, lo que implica que existe un ahorro significativo de fertilizante, que es un beneficio económico para el agricultor y en relación con la salud existe un menor riesgo de contaminación.



Figura 50 Cantidad Solución Nutritiva (mg/L)

Para el análisis de los indicadores de la fresa se utilizó dos muestras de cada cultivo como se ver en la figura 51, en tabla 21 se detalla cada indicador con respecto a las muestras propuestas, aclarando que el dulzor se refleja por el contenido de azúcar por el color.

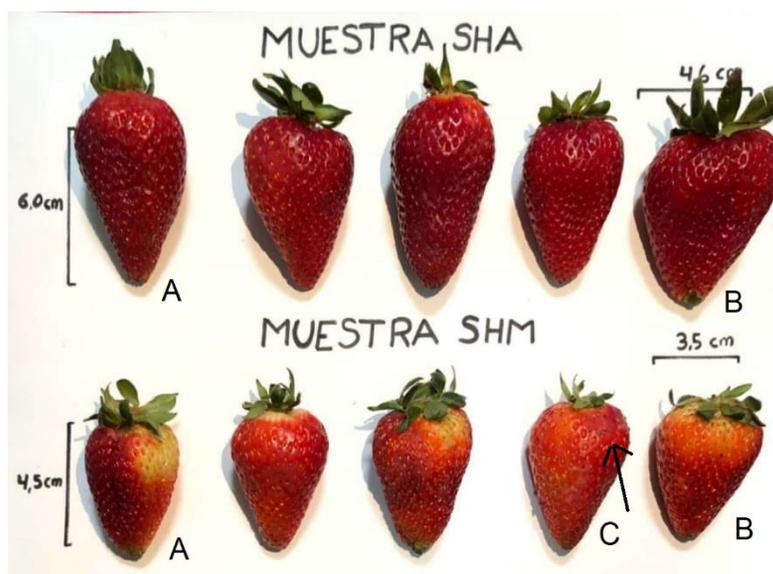


Figura 51. Muestras del cultivo de fresa

Tabla 21.
Indicadores de la fresa

Indicadores	Sistema hidropónico automatizado	Sistema hidropónico manual
Firmeza	No posee daño físico agujeros, manchas o moho y posee una textura más dura por lo que se puede considerar que es un fruto de buen aspecto y calidad.	Posee ligeros daños físicos como se puede observar en la figura C y una textura más suave, lo que disminuye la calidad
Tamaño	Las muestras demuestran un tamaño de 6.0 cm de altura como se puede ver en la figura A y un ancho de 4.6 cm como se puede ver en la figura B, mejorando en tamaño y ancho	Las muestras tienen un tamaño de 4.5 cm como se muestra en la figura A y un ancho de 3.5 cm, logrando un fruto regular
Color y sabor	De las observaciones realizadas a las muestras se puede determinar que el fruto tiene un color más rojizo lo que corresponde a un sabor más dulce, lo que se comprobó con degustación	Algunas muestras poseen un color amarillizo lo que corresponde a un sabor más agrio, lo que se comprobó con degustación

Para validar los indicadores de la fresa mencionados se cuenta con una prueba de laboratorio (ver Anexo 8) donde se detalla los resultados obtenidos de las muestras

seleccionadas del cultivo hidropónico automatizado, mismas que demuestran un porcentaje de aceptación de un 40% en cuanto a firmeza, un 35% tamaño, 23.26% en rendimiento y 43.60% de color y dulzor de aceptación más alto que el sistema hidropónico manual. De acuerdo a los resultados se puede concluir que las frutas cuentan con buena apariencia, firmeza, con un agradable sabor y con un adecuado valor nutritivo.

4.1.2. Validación comparación entre sistemas hidropónicos

Para validación del sistema se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos los cultivos hidropónicos, los criterios del experto y la información de (INTAGRI, 2017), para este análisis contamos con la experiencia del experto agrónomo el cual certifico la validez de los resultados obtenidos (ver Anexo 6), por lo que se identificó los elementos de análisis y los resultados que se muestran en la tabla 22:

Tabla 22.
Comparativo entre técnicas hidropónicas

N°	Elemento de análisis	Sistema hidropónico tradicional	Según INTAGRI	Sistema hidropónico con tecnología
1	Tiempo de desarrollo	5 meses	> 5 meses	<= 4 meses
2	cantidad de solución nutritiva aplicada	15066 mg/L	16520 mg/L	7554 mg/L
3	costo de fertilizantes (por cada aplicación)	1.00\$ m2	1.20\$ m2	0.84\$ m2
4	Diámetro de la fresa grande	37.2mm	35-40 mm	42.2mm
5	Control de las variaciones de temperatura	Es más difícil 13-17°C	15-20 °C	Es más fácil mediante la oxigenación de la solución 16,2-19°C
6	Hay un control completo, estable y preciso de nutrientes para todas las plantas	Fácil. Hay un buen control de pH, para realizar muestras y ajustes en forma manual.	Fácil control	Fácil. Hay un buen control de pH y CE facilita realizar muestras y ajustes en forma automatizada.

CONTINÚA



7	Se debe cambiar toda la solución para garantizar un buen balance de nutrientes, pH y conductividad eléctrica	Si	Si	No
8	Contaminación ambiental por residuos de solución nutritiva.	Es mayor	Es mayor	Es menor
9	Absorción más homogénea de nutrientes por las raíces	Si	Si	Si, pero mayor que en el sistema tradicional.
10	Mantenimiento	Medio	Medio	Bajo
11	Monitoreo remoto	No	No	Si
12	Necesidad de oxigenación de la solución nutritiva. (De no ser atendidas adecuadamente las raíces podrías sufrir asfixia, y causar marchitez.)	Es mayor y esta puede hacerse de forma manual	Mayor	Es menor y puede hacerse instalando oxigenadores en los contenedores.

El análisis comparativo muestra que el sistema hidropónico automatizado fue superior en cuanto a los aspectos que presentaron al sistema manual y a la información de (INTAGRI, 2017) respectivamente.

4.1.3. Entrega y recepción

Las pruebas fueron realizadas por dos usuarios expertos en agricultura y por el usuario final. Según la opinión de los expertos y el usuario, la calidad de la fresa es acertadas, el sistema genera una solución nutritiva equilibrada, sin comprometer el estado físico de la planta, los nutrientes son suministrados de mejor manera por la planta de fresa, además hay un mayor control de cultivo. En base a estas opiniones así como de los experimentos realizados se realiza la entrega del sistema en la empresa “Asis – Agro” y su correspondiente aprobación.

ACTA ENTREGA – RECEPCION

En la ciudad de salcedo a los doce días del mes de junio del 2019 comparecen por una parte la empresa "Asis – Agro" representado por el Sr. Sidney Eduardo Galarza y por otra parte los señores Chrystian Andrés López hidalgo portador de la C.I. 1803330024 y Jhonatan Stalin Salazar Hurtado portador de la C.I. 1003963020, egresados de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de la carrera de Ingeniería en Software, para suscribir la presente acta de entrega recepción contenida en las siguientes cláusulas:

PRIMERA. – ESPECIFICACIÓN

Cuyo objetivo es hacer constar la entrega y recepción del sistema, su verificación y comprobación de mejorar la calidad de sus cultivos y optimizar el fluido de nutrientes, el mismo que ha sido desarrollado por los señores en mención.

SEGUNDA. –

Recibido el sistema, el personal de la empresa "Asis – Agro", se compromete a dar uso del sistema según crea conveniente.

TERCERA. – ACEPTACIÓN

Para constancia de lo actuado y en fe de conformidad y aceptación suscriben la presente acta en original y una copia de igual tenor y efecto las personas que intervienen y comparecen en esta diligencia.

RECIBI CONFORME



Ing. Sidney Galarza
Representante de la empresa Asis – Agro

ENTREGUE CONFORME



Chrystian Andres Lopez
C.I. 1803330024



Jhonatan Stalin Salazar
C.I. 1003963020

Figura 52. Acta entrega – recepción

4.1.4. Validación y aceptación



VALIDACIÓN Y ACEPTACIÓN

La empresa "Asis – Agro" certifica que el Sr. CHRYSTIAN ANDRÉS LÓPEZ HIDALGO con cédula de ciudadanía Nro. 1803330024 y el Sr. JHONATAN STALIN SALAZAR HURTADO con cédula de ciudadanía Nro. 1003963020, realizaron el proyecto de tesis "DESARROLLO DE UN SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO"; el cual ha sido aceptado y validado a entera satisfacción, puesto que es un aporte tecnológico dentro de la empresa en mención, para ayudar a mejorar calidad de los cultivos de fresa.

Salcedo, 8 de julio de 2019

RECIBI CONFORME

 Ing. Sidney Galarza

Experto en el área agrícola

ENTREGUE CONFORME


 Chrystian Andres Lopez
 C.I. 1803330024


 Jhonatan Stalin Salazar
 C.I. 1003963020

Figura 53. Acta validación y aceptación

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En este trabajo de investigación se construye basado en los conocimientos de un experto humano para automatizar el balance de solución nutritiva para el cultivo hidropónico de fresa. Se utiliza para ello una red de sensores que permiten adquirir y monitorear variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica, las cuales permiten mediante un sistema difuso dar una aproximación sobre la solución nutritiva que será suministrada a las plantas, con la finalidad de mejorar la calidad de la planta. Este sistema se desarrolló en la empresa “Asis – Agro”

Se realizó un estudio y entrevistas al experto humano (agrónomo) sobre cultivos hidropónicos de la fresa, soluciones nutritivas, variables físico – ambientales como temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica. Lo que permitió extraer el conocimiento necesario para el diseño del sistema difuso. Por un lado, conocer los rangos de valores de cada una de las variables y por otro las reglas que determinan el cálculo de nutrientes, combinación de nutrientes para generar y mantener un equilibrio nutricional del cultivo.

El sistema difuso propicia un grado de correlación para la mejora del control del balance de solución nutritiva. Al monitorear temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica se pudo establecer rangos para ajustar los niveles de las variables dentro del cultivo hidropónico logrando determinarse que existe entre las variables de temperatura que está directamente correlacionada con la humedad, es decir, mientras que la temperatura aumenta la humedad esto conlleva a secar al cultivo y genera una nueva combinación nutritiva, en el caso del pH esta correlacionado con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva influyendo sobre el cálculo de nutrientes. Factores que determinan la solución nutritiva.

Los resultados obtenidos tanto en el laboratorio y la observación de expertos agrónomos, determinaron que el sistema hidropónico automatizado fue superior en cuanto a los aspectos que presentaron al sistema manual como: disminución de cantidad de solución nutritiva suministrada existiendo un ahorro aproximado de un 50% en nutrientes, reducción en el tiempo de desarrollo del cultivo en un 20%, un mejor control de variables, un ambiente controlado. Posibilitando una producción de fresa con alta calidad en cualquier época del año y una sostenibilidad en la tendencia actual de consumir productos limpios y orgánicos.

5.2. Recomendaciones

Aplicar el sistema de control para el balance de solución nutritiva a otros tipos de cultivos como frutas y hortalizas bajo la técnica de hidroponía, investigar los rangos de las variables de los cultivos para lograr un equilibrio nutricional y realizar pruebas que permita mejorar aquellos elementos en donde no se alcanzaron resultados óptimos como la absorción de nutrientes.

Usar nuevos instrumentos y equipos para lograr mayor eficiencia y menor costo de producción de fresa y de otros cultivos en el sistema hidropónico automatizado como dosificadores, sensor de oxigenación, sensor de dióxido de carbón, entre otros. Realizar más investigaciones sobre aplicación de tecnologías en el área agrícola y métodos para automatizar los procesos de cultivo.

Amplificar los ciclos repetitivos de cultivos para tener una mayor cantidad de análisis, monitorear permanente el sistema para realizar procesos de retroalimentación, necesarios para el mejoramiento y uso del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beltrano , J., & Gimenez, D. (2015). Cultivo en hidroponía (1ra. edición ed.). Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Llanos Peada, P. (18 de mayo de 2011). La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Formulas completas. Recuperado el 22 de junio de 2019, de <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>

Agronature. (26 de abril de 2018). Cultivo hidropónico, más ecológico y sostenible. Recuperado el 6 de julio de 2019, de <http://www.agronature.es/articulos/cultivo-hidroponico-mas-ecologico-y-sostenible>

Agroware. (4 de noviembre de 2016). Tecnologías para la Automátización de la Agricultura. Recuperado el 6 de julio de 2019, de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/automatizacion-de-la-agricultura/>

Alcalde García, E. (agosto de 2014). Clasificación del software. Madrid: Editorial alfaomega.

Aldo López, W. D. (FEBRERO de 2017). Conocimientos sobre reanimación cardiopulmonar . Mem. Inst. Investig. , IV(2).

Arduino, C. (14 de julio de 2017). Sensor de temperatura y humedad SHT20 I2C (A prueba de agua). Recuperado el 14 de octubre de 2019, de <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/sensor-de-temperatura-y-humedad-sht20-i2c-a-prueba-de-agua-25478>

ARGENTINA. (2016). Recuperado el 12 de SEPTIEMBRE de 2018, de Argentina.gob.ar: www.argentina.gob.ar

Arias Mamani , F. (2018). Evaluación de niveles de fertirrigación y dinámica de absorción de nutrientes en el cultivo de coliflor (brassica Oleraceal.) en invernadero en la Estación Experimental de Patacamaya. Tesis de grado.[Em línea]. Recuperado desde: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15525/T->

2504.pdf?sequence=1&isAllowed=y. La Paz –Bolivia: Universidad Mayor De San Andrés. Recuperado el 15 de agosto de 2019

Asociación Española de Fabricantes Agronutrientes. (14 de junio de 2017). Fertilizante. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/fertilizante>

ASSOCIATION, A. H. (s.f.). Reanimacion Cardio Pulmonar . AMERICAN HEART ASSOCIATION , 2015(15).

Atlas Scientific. (12 de agosto de 2018). Conductivity K 1.0 Kit. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/ec_k1_0_kit.html

Atlas Scientific. (12 de abril de 2018). PT-1000 Temperaturta Probe. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de https://www.atlas-scientific.com/product_pages/probes/pt1000.html

Atlas Scientific. (8 de marzo de 2019). EZO-pH. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/pH_EZO_Datasheet.pdf

Axayacatl, O. (19 de noviembre de 2018). Sistemas de cultivo en hidroponía. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de <https://blogagricultura.com/sistemas-cultivo-hidroponia/>

Baixauli, S., & Aguilar, O. (2012). Cultivo sin Suelo de Hortalizas, Aspectos Prácticos y Experiencias GENERALITAT VALENCIANA. Valencia España: Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Bar, Y. (1992). Fertilization under drip irrigation. Revista Fluid Fertilizer. Science and Technology, pp. 285-329.

Barbaro, L. (2017). Importancia del Ph y kla conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. Argentina. [En línea]. Dsponible

desde:https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf: Ministerio de Agricultura, Ganadería y PEsca. Recuperado el 16 de septiembre de 2019

Barros, P. (2015). La Hidroponía.[En línea]. Disponible desde:<http://www.biblioteca.org.ar/libros/3040.pdf>. Buenos Aires. Recuperado el 16 de septiembre de 2019

Beltrano, J., & Gimenez, D. (2017). Cultivo en hidroponía. Buenos Aires.[En línea]. Disponible desde:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1: Universidad Nacional de La Plata. Recuperado el 17 de septiembre de 2019

Billinger, J., & Pérez, M. (29 de enero de 2013). Lycopersicon esculentum. Recuperado el 14 de noviembre de 2019, de <http://www.botanicayjardines.com/lycopersicon-esculentum/>

Brajovic, G. (22 de noviembre de 2016). La importancia del pH en hidroponía. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <http://www.hidroponic.cl/la-importancia-del-ph-en-hidroponia/>

Cadahía, C. (1 de mayo de 2013). Fertilizacion por Riego localizado o Fertirrigacion. Recuperado el 4 de enero de 2019, de <http://www.tecnicoagricola.es/fertilizacion-por-riego-localizado-o-fertirrigacion/>

Caisán, I. (24 de julio de 2017). Hidroponía paso a paso. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <http://latinxlifestyle.com/hidroponia-paso-a-paso/>

Cajo, A. (2016). producción hidropónica de tres variedades de lechuga bajo sistema NFT con tres soluciones nutritivas. Proyecto de Investigación. Ambato. [En línea]. Disponible desde:
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23421/1/Tesis->

- 136%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf:
Universidad técnica de Ambato. Recuperado el 20 de Enero de 2019
- Calderón, F. (14 de septiembre de 2011). Los Sustratos. Recuperado el 22 de junio de 2019, de www.drcalderonlabs.com
- Caldeyro, M., Cajamarca, I., & Erazo, J. (2015). Hidroponía Simplificada: Mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional en niños de 0 a 6 años en Ecuador. FAO. [En línea]. Disponible desde: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/biotecu.pdf. Recuperado el 14 de abril de 2019
- Canós, J., Letelier , P., & Penadés, C. (2015). Metodologías  giles en el Desarrollo de Software. Madrid. [en línea]. Disponible desde: <http://roa.ult.edu.cu/jspui/bitstream/123456789/476/1/TodoAgil.pdf>: Universidad Polit cnica de Valencia. Recuperado el 22 de Marzo de 2019
- Cardiología., S. E. (AGOSTO de 2016). Guías de actuación clínica de la Sociedad Española de Cardiología en resucitación cardiopulmonar. REVISTA ESPAÑOLA DE CARDIOLOGIA , 65.
- Castellanos Casas, R. (2011). clasificación del software. México, D.F.: Editorial Thomson.
- Castellanos, A. (2013). Algoritmos para minería de datos con redes de neuronas. Madrid: Editorial A. Castellanos.
- Castellanos, J. (2014). Manual de Producción de Tomate en Invernadero. México, D.F: Intagri.
- Castillo, J. (2018). Factibilidad de lechuga hidropónica en el Cantón Santa Rosa, Provincia del El Oro. tesis de pregrado. [En línea]. Disponible desde: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12415/4/DE00002_TRABAJODETITULACION.pdf. Machala: Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 22 de enero de 2019

- Castro, L. (12 de noviembre de 2010). Modelo RUP. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de <https://softwarerecopilation.wordpress.com/modelo-rup/>
- Chávez, P., & Zatarain, M. (2010). ¿Porqué, Cuánto, Cuándo y Cómo Regar? México, D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- CITYSENS. (21 de mayo de 2016). Ventajas y desventajas de la hidroponía. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <https://www.citysens.com/es/content/16-ventajas-desventajas-hidroponia>
- Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo. (2017). Técnicas de Hidroponía. Argentina: Instituto Nacional para la Educación de los Adultos. [En línea]. Disponible desde: https://www.conevyt.org.mx/educhamba/guias_emprendizaje/CONDICIONES_A_MB.pdf. Recuperado el 14 de agosto de 2019
- CORAZON, F. E. (2016). Recuperado el 12 de SEPTIEMBRE de 2019, de FUNDACION ESPAÑOLA DEL CORAZON: <https://fundaciondelcorazon.com>
- Corrales, L. (12 de diciembre de 2017). Interfaces de Comunicación Industrial. Recuperado el 31 de enero de 2019, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>
- Cucalón, B. M. (AGOSTO de 2016). Cumplimiento Del Protocolo De Reanimación. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, 10(3).
- Cucalón, B. M. (AGOSTO de 2016). Cumplimiento Del Protocolo De Reanimación. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, 10(3).
- DASA. (21 de marzo de 2018). Compatibilidad de los fertilizantes. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de <http://novedadesdasa.com/los-fertilizantes-en-la-agricultura/>
- Deere, J. (25 de enero de 2016). Cultivos hidropónicos. Recuperado el 6 de julio de 2019, de <https://www.iagua.es/noticias/iriego/16/01/25/cultivos-hidroponicos>

- Del Brio, B., & Sanz Molina, A. (2017). Redes neuronales y Sistemas borrosos. México, D.F.: ALFAOMEGA Grupo Editor.
- Ebbert , J. (12 de agosto de 2018). NFT System. Recuperado el 15 de agosto de 2019, de <http://telehidroponia.com/n-f-t/>
- ESPAÑOLA, C. R. (2015). REANIMACION CARDIO PULMONAR. INFORMATIVO, CRUZ ROJA, SALUD, MADRID.
- Estrada, J. (11 de marzo de 2014). Cultivos en aire, una producción más rentable y constante. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <https://www.larepublica.co/archivo/cultivos-en-aire-una-produccion-mas-rentable-y-constante-2103975>
- FAO. (2016). La importancia de la agricultura en la actualidad. [En línea]. Disponible desde: <http://www.fao.org/3/a0015s/a0015s04.htm>. Recuperado el 17 de abril de 2019
- FAO. (2017). Perspectivas para el medio ambiente. Agricultura y medio ambiente. [En línea]. Disponible desde: <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm>. Recuperado el 18 de abril de 2019
- Fernández, N., & Carvajal, L. (2010). Sistema Difuso Tipo Mamdani para la Determinación Genérica de la Calidad del Agua. Revista de la Facultad de Ciencias. BISTUA, vol. 8(núm. 1), pp. 5-17.
- Ferreyra, E., Sellés, V., & Ahumada, B. (2015). Manejo del Riego Localizado y Fertirrigación. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Flores Barona, M. (2018). Evaluación de sustratos y soluciones nutritivas en la producción hidropónica con sustratos sólidos en fresa. Documento Final del Proyecto de Investigación como requisito para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Ambato. [En línea]. Disponible desde: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28424/1/Tesis->

200%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20585.pdf:
Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 17 de agosto de 2019

Franedict, L. (14 de julio de 2012). Inteligencia Artificial. Recuperado el 17 de junio de 2019, de <http://ia-jlatour.blogspot.com/2012/07/logica-difusa.html>

GAD Municipal de Cotopaxi. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025. Latacunga: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi .

Gastón , J., & Sáenz, G. (2014). Desarrollo agrícola y perspectiva ambiental en la cordillera de la costa chilena. Avances en la interpretación ambiental del desarrollo agrícola de América Latina. Santiago: CEPAL.

Gonzales Morcillo, C. (2011). Lógica Difusa Una introducción práctica.

Groho, H. (12 de julio de 2017). <https://www.citysens.com/es/content/16-ventajas-desventajas-hidroponia>. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <https://www.groho.es/post/como-el-cultivo-vertical-maximiza-la-produccion-de-cosechas>

Hagin, J., & Snehly , A. (2012). “Fertigation – Fertilization through irrigation”. IPI Research Topics, pp. 34-45.

Hernández, J. (24 de junio de 2019). Consideraciones de la Agricultura Protegida en América Latina. Recuperado el 12 de noviembre de 2019, de <https://smeapmexico.org/consideraciones-de-la-agricultura-protegida-en-america-latina/>

Hirzel, J. (15 de diciembre de 2015). La fertirrigación como método de fertilización: Conceptos y problemáticas. El mercurio.

Holandes, P. (14 de noviembre de 2017). Guía de hidroponía para principiantes. Recuperado el 15 de agosto de 2019, de <https://elholandespicante.com/guia-de-hidroponia-para-principiantes/#nutrientes>

- Holmberg M, H. S. (ENERO de 2018). Factors modifying the effect of bystander cardiopulmonary resuscitation on survival in out-of-hospital cardiac arrest patients in Sweden. MEDLINE, 22(2).
- HydroEnviroment. (12 de marzo de 2016). Tipos de sustratos para hidroponía. Recuperado el 6 de julio de 2019, de https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=32
- Ibadango Ruíz, F. D. (2017). Eficiencia Y Rentabilidad Del Sistema Hidropónico Vertical Frente Al Convencional En La Producción De Tres Variedades De Fresa (Fragaria Vesca L.), En La Granja Experimental Yuyucocha, Imbabura. Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Ibarra. [En línea]. Disponible desde:<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6405/1/03%20AGP%20211%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>: Universidad Técnica Del Norte. Recuperado el 14 de mayo de 2019
- Inca Sánchez, S. A. (2013). Automatización y control del sistema NFT para cultivos hidropónicos. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico.[En línea] Recuperado desde: http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/405/1/Inca_sa.pdf. Lima – Perú: Universidad Ricardo Palma. Recuperado el 15 de Enero de 2019
- Inca, S. (2013). Automatización y Control del Sistema NFT para Cultivos Hidropónicos. Tesis de Licenciatura. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Inca, S. (2013). Automatización y Control del Sistema NFT para Cultivos Hidropónicos. Tesis de Licenciatura, 112 p. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- INCAP. (12 de julio de 2016). Hidroponía. Recuperado el 30 de enero de 2019, de <http://www.incap.int/index.php/es/areas-tematicas/nutricion-y-sus-determinantes/centro-de-capacitacion-en-seguridad-alimentaria-y-nutricional-cais/hidroponia>

INEC. (2015). Paro Cardio Respiratorio. Instituto Nacional de Censos , SALUD, QUITO.

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. (3 de diciembre de 2018). Nuevas herramientas para la gestión eficiente del fertirriego. Recuperado el 31 de enero de 2019, de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web/noticias/nuevas-herramientas-para-la-gestion-eficiente-del-fertirriego>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y pecuarias. (14 de noviembre de 2014). Hidroponía aplicada en tomate, como alternativa sustentable en la comunidad indígena. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1263/Hidroponia_tomate_1263.pdf?sequence=1

INTAGRI. (2017). Los Sistemas de Riego Aptos para la Fertirrigación. Serie Agua y Riego . México: Editorial INTAGRI.

INTAGRI. (2017). La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. México, D.F.

INTAGRI. (agosto de 2017). Las Nuevas Apps para el Sector Agrícola. Recuperado el 4 de enero de 2019, de <https://www.intagri.com/articulos/noticias/nuevas-apps-para-el-sector-agricola>

Jacobson, I. (21 de agosto de 2013). Metodologías de desarrollo de Software. Recuperado el 20 de noviembre de 2019, de https://www.ecured.cu/Metodologias_de_desarrollo_de_Software

JOOMLA. (12 de septiembre de 2011). La frutilla o fresa. Recuperado el 22 de junio de 2019, de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/975/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000181.pdf>

Kaweaii, J. (21 de junio de 2018). Clasificación y Tipos de Software. Recuperado el 3 de enero de 2019, de <http://informaticaxp.net/clasificacion-y-tipos-de-software>

- Kitamura T, I. T. (ABRIL de 2016). Conventional and chest-compression-only cardiopulmonary resuscitation by bystanders for children who have out-of-hospital cardiac arrests: a prospective, nationwide, population-based cohort study. All-Japan Utstein Registry of the Fire and Disaster Management Agency. , 72(12).
- Lacarra , A., & García , C. (2011). Validación de Cinco Sistemas Hidropónicos para la Producción de Jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) y Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en Invernadero. Trabajo de Experiencia Recepcional, 52 p. Xalapa, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Larrazabal , M. (13 de febrero de 2019). Tipos de Agricultura ¿Cuáles Son y Cómo se Clasifican? Recuperado el 6 de julio de 2019, de <https://www.bialarblog.com/tipos-de-agricultura-cuales-como-clasifican/>
- Larsen JM, R. J. (JULIO de 2015). Resuscitation. . Acute coronary angiography in patients resuscitated from out-of-hospital cardiac arrest, 83(33).
- Leguízamo, J. L. (25 de junio de 2018). El Internet de las Cosas es la promesa de un futuro hiperconectado. Recuperado el 29 de enero de 2019, de <https://codigospagueti.com/noticias/internet/que-es-el-internet-de-las-cosas/>
- León , Billy. (2017). Diseño de un sistema de monitoreo y control de Ph de nutrientes para un prototipo de cultivo hidropónico usando PLC y software Scada. Tesis de pregrado. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- León Rojas, B. A. (15 de Julio de 2017). Diseño de un sistema de monitoreo y control de Ph de nutrientes para un prototipo de cultivo hidropónico usando PLC y software Scada. Tesis previa la obtención del título de Ingeniería. [En línea]. recuperado desde: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/9029>. Lima - Perú: Pontificia Universidad católica del Perú. Recuperado el 16 de Marzo de 2019
- Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, semillas y fomento de agricultura. (8 de junio de 2017). Registro Oficial Suplemento. Quito: Asamblea Nacional. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de

http://www.gptsachila.gob.ec/dtransparencia/21%20LEY_ORGANICA_AGROBIO_DIVERSIDAD_SEMILLAS_Y_F_A.pdf

Lieten , F. (2010). The effect of humidity on the performance of greenhouse grown strawberry Acta Hort.

Luna, J. (17 de diciembre de 2017). Técnicas hidropónicas. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/tecnicas/>

M.Á. García Herreroa, R. G. (AGOSTO de 2016). La reanimación cardiopulmonar y la atención inicial a las urgencias y emergencias pediátricas. SCIELO, 13(20).

Madrid Serna, Y. N. ([En línea]. Disponible desde: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2390/1/106895.pdf> de 2013). “Usando SIG (Sistemas de Información Geográfica) para modelar la respuesta de la productividad del cultivo de banano a las características químicas de suelos, Colombia. Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Magíster en Sistemas de Información Geográficas. Universidad San Francisco de Quito. Recuperado el 15 de Octubre de 2019

Magán, J. (23 de octubre de 2016). Sistemas de cultivo en sustrato: A solución perdida y con recirculación del lixiviado (Parte I). Recuperado el 14 de agosto de 2019, de http://www.infoagro.com/documentos/sistemas_cultivo_sustrato__a_solucion_perdida_y_recirculacion_del_lixiviado__parte_i_.asp

Manav, M., & Saxena, S. (2018). IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. Revista Computers and Electronics in Agriculture. [En línea]. Disponible desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918311839>, vol. 155, pp. 473-486. Recuperado el 22 de Marzo de 2019

Martínez, E., & García , M. (1993). Cultivos sin suelo hortalizas en climas del mediterráneo. Ediciones de Horticultura.

Mecafenix, F. (16 de enero de 2018). Que es y para que sirve un PLC. Recuperado el 31 de enero de 2019, de <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/que-es-un-plc/>

- Monsieurs KG, N. J. (AGOSTO de 2015). Resuscitation. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation , 95(180).
- Morales , V. (2014). Producción de Hortalizas bajo Sistemas Hidropónicos, Técnica de la Película de Nutriente (NFT) y Cama de Agua. Tesis de Licenciatura, 111 p. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- NaanDanJan. (2014). Microaspersores. Editorial NaanDanJain Ltd.
- Olarte Gervacio, L. (12 de septiembre de 2017). Clasificación de software de sistemas y aplicaciones. (Conogasi, Ed.) Recuperado el 3 de enero de 2019, de <http://conogasi.org/articulos/clasificacion-de-software-de-sistemas-y-aplicaciones/>
- OMS. (2016). ENFERMEDAD CARDIO VASCULAR . NOTA CIENTIFICA , ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD , SALUD , MADRID.
- Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura. (14 de julio de 2018). El futuro de la alimentación y la agricultura. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de <http://www.fao.org/publications/fofa/es/>
- Ortíz, P. (28 de abril de 2018). La importancia de la agricultura en el Ecuador. La Hora. [En línea]. Disponible desde: <https://lahora.com.ec/loja/noticia/1102152925/la-importancia-de-la-agricultura-en-el-ecuador>. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019
- Ossa, S. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. Revista vector 12. [en línea]. Disponible desde: http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector12_6.pdf, pp. 51-60. Recuperado el 8 de Noviembre de 2019
- Osuna Canizalez , F., & Ramírez Rojas, S. (2013). Manual para cultivar cebolla con fertirriego y riego por gravedad en el estado de Morelos. Zacatepec, Morelos: Centro de Investigación Regional Pacífico Sur .

- Pacheco, J. (21 de mayo de 2019). 13 Productos Agrícolas de la Sierra Ecuatoriana. Recuperado el 4 de agosto de 2019, de <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/187620-13-productos-agr%C3%ADcolas-de-la-sierra-ecuatoriana-lista>
- Palma, J., & Marín, R. (2018). Inteligencia artificial técnicas, Métodos y aplicaciones. Madrid: Editorial McGraw-Ghill.
- Peer, J. (12 de septiembre de 2017). ¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos? Recuperado el 3 de septiembre de 2019, de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>
- Peña , D. (27 de noviembre de 2012). Fases del Modelo RUP. Recuperado el 22 de julio de 2019, de http://metodologiadesoftware.blogspot.com/2012/11/fases-del-modelo-rup_27.html
- Pérez, F. (2016). Aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa*) bajo técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, PH y conductividad eléctrica en Pucallpa. Tesis. [En línea]. Disponible desde: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3888>. Perú: Universidad Nacional de UCAYALI. Recuperado el 20 de junio de 2019
- Pérez, J. (2013). Caracterización y análisis de los sistemas de terrazas agrícolas en el Valle de Toluca, México. Rev. agric. soc. desarro. SCIELO. [En línea]. Disponible desde: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722013000400002, vol. 10(num.). Recuperado el 10 de enero de 2019
- Posada, A. (24 de enero de 2017). El Internet de las Cosas y la Agricultura de Precisión. Recuperado el 31 de enero de 2019, de <https://techcetera.co/internet-las-cosas-la-agricultura-precision/>

- Raffino, E. (21 de junio de 2017). ¿Qué es software? Recuperado el 20 de noviembre de 2019, de <https://concepto.de/software/>
- Ramírez , H. (2015). Sistemas de producción de fresa de altas densidades. Tesis en maestría en ciencias. Mexico: Colegio de postgraduados.
- Rámirez, I. (2015). Innovación Tecnológica en el Sector Agropecuario. [En línea]. Disponible desde: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/6848/1/84%20INNOVACION%20TECNOLOGICA%20EN%20EL%20SECTOR%20AGROPECUARIO.pdf>. Machala: Universidad técnica de Machala. Recuperado el 22 de junio de 2019
- Ramírez, J. (21 de mayo de 2014). Frutas y verduras hidropónicas, un modo de vida saludable. Recuperado el 14 de noviembre de 2019, de <https://hidroponia.mx/frutas-y-verduras-hidroponicas-un-modo-de-vida-saludable/>
- Resh, H. (2011). Cultivos Hidropónicos, Nuevas técnicas de Producción. Editorial Mundi Prensa.
- REVISTA ESPAÑOLA DE CARDIOLOGIA . (JUNIO de 2016). Guías de resucitación cardiopulmonar 2015 del Consejo Europeo de Resucitación. REVISTA ESPAÑOLA DE CARDIOLOGIA , 69(06).
- Rincón Sánchez , L. (19 de mayo de 2018). Evolución de la fertirrigación localizada en los últimos 20 años. (I. M. (IMIDA), Ed.) Recuperado el 31 de enero de 2019, de <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/199-mayo-2008/evolucion-de-la-fertirrigacion-localizada-en-los-ultimos-20-anos>
- Ríos., A. G. (junio de 2017). “Conocimientos sobre Soporte Vital Básico en el personal del Hospital Isidro Ayora en la ciudad de Loja”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, 12(1).
- Rodríguez, B. (2010). Capacidad de multiplicación, productividad e indicadores de calidad de consumo de nuevas variedades mexicanas de fresa. Tesis de maestro en ciencias. Montecillo, Texcoco, México: Colegio de postgraduados.

- Rody, J. (23 de julio de 2019). Canales horizontales. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de http://hidroponiapanama.blogspot.com/2009/07/canales-horizontales_23.html
- Rojas, T. (2013). Técnicas, métodos y estrategias agrícolas. México: Editorial Raíces.
- Rossum, G. (2015). El tutorial de Python. Argentina. [En línea]. Disponible desde: <http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>: Python Software Foundation. Recuperado el 7 de Febrero de 2019
- Rubio, C. (agosto.[En línea]. Disponible desde: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14533/1/UPS%20-%20ST003193.pdf> de 2017). Automatización de un cultivo hidropónico NFT para el control de temperatura, riesgo, y mezcla de la solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito. Trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero Electrónico. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 20 de agosto de 2019
- Rueda, J. (marzo de 2016). Aplicación de la metodología RUP para el desarrollo rápido de aplicaciones basado en el estándar J2EE. Trabajo de graduación. Guatemala. [en línea]. Disponible desde: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0308_CS.pdf: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 15 de julio de 2019
- Saavedra, G. (2013). Introducción a la producción de hortalizas. Italia. [En línea]. Disponible desde: <http://www.fao.org/3/a-az120s.pdf>: FAO. Recuperado el 10 de septiembre de 2019
- Saéz, D. (2 de octubre de 2017). Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Estancia en Practicas y Proyecto Final de Grado. España: Universidad Jaume.
- Sáez, J. (3 de mayo de 2018). ¿Qué diferencia hay entre un sensor Pt100 y un Pt1000? Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de

<https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/qu-diferencia-hay-entre-un-sensor-pt100-y-un-pt1000/><https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/qu-diferencia-hay-entre-un-sensor-pt100-y-un-pt1000/><https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/qu-diferencia-hay-entre-un-sensor-pt100-y-un-pt1000/>

Santiago, J. (11 de diciembre de 2018). El control y la automatización en la agricultura. Recuperado el 6 de julio de 2019, de <https://blog.conapa.es/el-control-y-la-automatizacion-en-la-agricultura>

Santos Coello, B., & Ríos Mesa, D. (2016). Cálculo de Soluciones Nutritivas En suelo y sin suelo. España: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. [En línea]. Disponible desde: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf. Recuperado el 6 de septiembre de 2019

Santos, L. (2018). Sistema difuso para la evaluación de trabajos de grado. Revista Colombiana de Tecnología Avanzada. [en línea]. Disponible desde: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/documentos/pdf/15102009/10_ar_luz_marina.pdf, 2(22214), pp. 69-75. Recuperado el 7 de junio de 2019

Sela, G. (12 de septiembre de 2016). Soluciones Nutritivas en Hidroponía. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/hydroponic-nutrient-solutions>

Sela, G. (24 de diciembre de 2018). Recuperado el 6 de julio de 2019, de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/hydroponic-nutrient-solutions>

Soar J, N. J. (ABRIL de 2015). Guidelines for Resuscitation. European Resuscitation Council, 95(3).

Spectris, C. (14 de junio de 2016). Medidor de pH. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de <https://es.omega.com/prodinfo/medidor-ph.html>

- Tello Cano , G. (31 de enero de 2014). "Evaluación de cultivo hidropónico versus fertirriego en tomate (*Lycopersicon esculentum*), bajo condiciones de invernadero en Cuyotenango, Suchitepéquez. Trabajo de titulación. [en línea]. Recuperado desde: <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202007.88.pdf>. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 17 de abril de 2019
- Tello Cano, G. V. (2014). Evaluación de cultivo hidropónico versus fertirriego en tomate (*Lycopersicon esculentum*), bajo condiciones de invernadero en Cuyotenang. Proyecto FODECYT No. 88 - 2014. [En línea]. Disponible desde: <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202007.88.pdf>. Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 17 de abril de 2019
- UNAD. (24 de marzo de 2014). Fases Metodología RUP. Recuperado el 22 de julio de 2019, de <http://metodogiarupgrupo23.blogspot.com/2014/03/fases-metodologia-rup.html>
- Valois , M. A. (22 de mayo de 2018). Qué es internet de las cosas y cómo funciona? Recuperado el 30 de enero de 2019, de <https://www.hostgator.mx/blog/internet-de-las-cosas/>
- Web2feel. (2 de enero de 2014). Hidroplante. Recuperado el 11 de noviembre de 2019, de <http://hidroplante.blogspot.com/2012/10/hidroponia-no-espacio-nasa.html>
- Zadeh, L. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex system. IEEE Transaction on System Man and Cybernetics. [En línea]. Disponible desde:https://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf, pp.28– 44. Recuperado el 7 de Noviembre de 2019

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

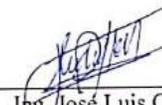
CARRERA DE INGENIERÍA EN SOFTWARE

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por el señor Chrystian Andrés López Hidalgo y el señor Jhonatan Stalin Salazar Hurtado

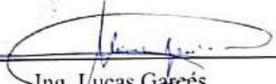
En la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de diciembre de 2019.

Aprobado por:



Ing. José Luis Carrillo

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Lucas Garcés

DIRECTOR DE CARRERA



Abg. Darwin Albán Yáñez

SECRETARIO ACADÉMICO