Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE INGENIERÍA

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

"*SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA*"

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN SISTEMAS

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

DOMÓTICA Y COMUNICACIONES

AUTOR/A: EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR

ASESOR/A: STALIN ARCINIEGAS

IBARRA, MARZO 2023

Ibarra, 06 de marzo de 2023

Mgs. Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre
ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ingeniería, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCE-SI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:) 

Mgs. STALIN MARCELO ARCINIEGAS AGUIRRE

C.C.: 1003496815

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCE-SI):



(f): ……

Mgs. Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre

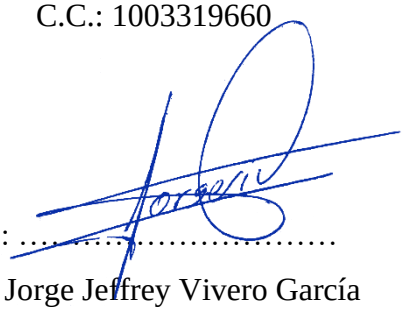
C.C.: 1003496815



(f): ……

Ing. Darwin Marcelo Pillo Guanoluisa

C.C.: 1003319660



(f): ……

Ing. Jorge Jeffrey Vivero García

C.C.: 1002061420

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: "Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilizaciones de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia".

Ibarra, 06 de marzo de 2023



f): ……..

EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR

C.C.: 100353891-3

AUTORÍA

Yo, EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR, portador de la cédula de ciudadanía N°100353891-3, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f): ……..

EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR

C.C.: 100353891-3

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR, con CC: 100353891-3, autor del trabajo de grado intitulado: "SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA", previo a la obtención del título profesional de Ingeniero en Sistemas, en la Escuela de Ingeniería.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 06 de marzo de 2023



(f.)…….
EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR

C.C. 100353891-3

CERTIFICACIÓN ANTIPLAGIO

Yo Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre, declaro que luego del proceso de revisión en el sistema antiplagio TURNITIN el porcentaje de similitud del trabajo de titulación denominado: "SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA", es del 3%, de acuerdo al documento 1979317027.

En base a lo anterior, considero que el trabajo de titulación NO ☐ SÍ ☒ cumple los requisitos de originalidad y autenticidad, de acuerdo con los requisitos establecidos por la ley.

Ibarra, 06 de Marzo 2023



Mgs. STALIN MARCELO ARCINIEGAS AGUIRRE

C.C.: 1003496815

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, salud, sabiduría y por ser quien me dio fuerzas para poder continuar en este proceso de obtener una de las metas más anheladas.

A mis abuelos quienes fueron las personas más importantes que tuve en mi vida, siempre estuvieron en los momentos que mis padres no podían acompañarme, aunque ya no los tengo aquí conmigo una de ustedes vio cumplir el logro de su “guambra”.

A mis padres Mauricio y Dory quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Finalmente, a mi hermana Dome por sus consejos que me ayudaron a ser mejor persona, es mi claro ejemplo de madurez y profesionalismo que quiero alcanzar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a toda mi familia, por brindarme su apoyo incondicional en los momentos más difíciles, sin duda, ha sido lo que me impulsado como persona y como profesional.

A mis amigos que conozco desde hace 10 años: Francisco, Michael, Diego, Dacho y Juan Diego; sin duda alguna, no puedo tener mejores amigos que ustedes, siempre supieron estar en los momentos más complicados de mi vida, escuchándome y apoyándome cuando más los necesite.

Por último, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra que ha sido parte de mi formación profesional, quienes, de una manera muy generosa y desinteresada, han compartido sus conocimientos conmigo en especial al Mgs. Stalin Arciniegas, quien ha sido el principal apoyo para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN 18
ABSTRACT 19
INTRODUCCIÓN 20
OBJETIVOS 21
Objetivo General: 21
Objetivos Específicos: 21
CAPÍTULO I 17
MARCO TEÓRICO 17
ESTADO DEL ARTE 17
1.1. Invernadero: aspectos generales 18
1.1.1 Riego 19
1.1.2 Suelo 20
1.1.2.1 Tipos de suelo 20
1.1.3 Propiedades del suelo desde la perspectiva de disponibilidad de agua para plantas 21
1.1.3.1 Capacidad de campo 21
1.1.3.2 Punto de marchitez permanente 21
1.1.3.3 Agua útil para las plantas 22
1.1.3.4 Agua fácilmente utilizable para las plantas 22
1.1.4 Técnicas de riego 22
1.1.4.1 Riego por superficie 23
1.1.4.2 Riego por aspersión 23
1.1.4.3 Riego localizado 24
1.1.4.4 Comparación de las técnicas de riego 25
1.1.5 Riego localizado 26
1.1.6 Necesidades hídricas de los cultivos 27
1.1.7 Proceso de evapotranspiración 27
1.1.7.1 Evaporación 27
1.1.7.2 Transpiración 28
1.1.7.3 Evapotranspiración 29
1.1.8 Factores que influyen en la evapotranspiración 29

1.1.9 Conceptos de evapotranspiración 30
1.1.10 Ecuación Penman-Monteith de la FAO 31
1.1.11 ETo diario 32
1.1.12 Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar 32
1.1.13 Condiciones ambientales óptimas bajo invernadero 33
1.1.14 Ventilación bajo invernadero 34
1.2. Internet de las cosas 35
1.2.1. Domótica e Inmótica 35
1.2.2. Automatización de un invernadero 36
1.3. Placas microcontroladoras 37
1.4. Arduino 38
1.4.1. Arduino UNO 40
1.4.2. Arduino MEGA 41
1.4.3. Escudo Ethernet 42
1.4.4. Escudo Xbee 42
1.4.5. Módulo Relé Arduino 43
1.5. Sensores 44
1.5.1. Sensores de temperatura y humedad 44
1.5.2. Sensor de humedad del suelo 45
1.6. Comunicación inalámbrica en Arduino 47
1.6.1. ZigBee 47
1.6.2.1. Topología de red ZigBee 48
1.6.2.2. Xbee 49
1.7. Sistema Web 50
1.7.1. Kit de desarrollo de Software Ionic 51
1.7.2. CodeIgniter 51
1.7.3. Firebase 51
1.7.4. MySQL 51
1.8. Metodología XP 52

1.8.1. Roles Metodología XP 52
1.8.2. Planificación del proyecto 53
CAPÍTULO II 55
MATERIALES Y MÉTODOS 55
2.1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN 55
2.2. TÉCNICAS 55
2.2.1. Análisis de la entrevista 55
2.2.2. Fichas de observación 58
2.3. DOCUMENTO IEEE 830 62
2.3.1. INTRODUCCIÓN 62
2.3.1.1. Propósito 63
2.3.1.2. Alcance 63
2.3.1.3. Personal involucrado 63
2.3.1.4. Definiciones, acrónimos y abreviaturas 64
2.3.1.5. Referencias 65
2.3.1.6. Resumen 65
2.3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL 65
2.3.2.1. Funcionalidad del producto 65
2.3.2.2. Características de los usuarios 67
2.3.2.3. Restricciones 67
2.3.2.4. Suposiciones y dependencias 68
2.3.3. REQUISITOS FUNCIONALES 68
2.3.4. REQUISITOS NO FUNCIONALES 72
2.3.5. REQUISITOS COMUNES DE LAS INTERFACES 74
2.3.5.1. Interfaces de usuario 74
2.3.5.2. Interfaces de hardware 74
2.3.5.3. Interfaces de software 74
2.3.5.4. Interfaces de comunicación 75
2.3.6. REQUISITOS COMUNES DE LAS INTERFACES 75
2.3.6.1. Requisito funcional RF01: Visualizar Dashboard 75
2.3.6.2. Requisito funcional RF02: Gestión de usuarios 76
2.3.6.3. Requisito funcional RF03: Parametrización cultivos 76
2.3.6.4. Requisito funcional RF04: Gestión Reportes 76
2.3.6.5. Requisito funcional RF05: Comunicación inalámbrica 76

2.3.6.6. Requisito funcional RF06: Conexión base de datos 77
2.3.6.7. Requisito funcional RF07: Modo manual 77
2.3.6.8. Requisito funcional RF08: Modo automático 77
2.3.6.9. Requisito funcional RF09: Apertura y cierre de riego 77
2.3.6.10. Requisito funcional RF10: Apertura y cierre de cortinas 77
2.3.7. REQUISITOS NO FUNCIONALES 78
2.3.7.1. Interfaz del sistema 78
2.3.7.2. Fiabilidad 78
2.3.7.3. Mantenimiento 78
2.3.7.4. Desempeño 78
2.4. DOCUMENTO IEEE 1362 79
2.4.1. ALCANCE 79
2.4.2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS 81
2.4.3. SITUACIÓN ACTUAL 81
2.4.4. SISTEMA PROPUESTO 84
2.5. VALIDACIONES 89
CAPÍTULO III 91
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 91
3.1. INTERFACES DEL SISTEMA WEB 91
3.2. DIAGRAMA BASE DE DATOS 93
CONCLUSIONES 93
RECOMENDACIONES 94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95
ANEXOS 99

ÍNDICE IMÁGENES

Gráfico 1: Almacenamiento de agua en el suelo. 21
Gráfico 2: Por surcos constantes 23
Gráfico 3: Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión 24
Gráfico 4: El riego localizado está especialmente recomendado en cultivos en línea. 25
Gráfico 5: Factores que afectan la evapotranspiración 30
Gráfico 6: Ecuación FAO Penman-Monteith 31
Gráfico 7: Coeficiente de cultivo 33
Gráfico 8: Ventilación en invernaderos 34
Gráfico 9: Aplicaciones de IoT 35
Gráfico 10: Sistema de automatización de un invernadero 36
Gráfico 11: Arquitectura microcontrolador 37
Gráfico 12: Cuadro comparativo microcontroladores 38
Gráfico 13: Clasificación de productos Arduino 39
Gráfico 14: Arduino + Ethernet Shield 42
Gráfico 15: Xbee Shield 43
Gráfico 16: Módulo Relé 4 canales 43
Gráfico 17: Sensores DHT y DHT22 44
Gráfico 18: Gráfica de resultados de sensores capacitivos y resistivos 46
Gráfico 19: Sensores resistivos y capacitivos 47
Gráfico 20: Topologías de red ZigBee 49
Gráfico 21: Módulo Xbee Serie 2 50
Gráfico 22: Fases de planificación metodología XP. 53
Gráfico 23: Caso de Uso Administrador 66
Gráfico 24: Caso de Uso Comunicación 66
Gráfico 25: Caso de Uso Hardware 66
Gráfico 26: Configuración de la red Xbee 75
Gráfico 27: Proceso actual del invernadero 83

Gráfico 28: Diagrama-Sistema Manual Invernadero 85
Gráfico 29: Diagrama-Sistema Automático Invernadero 86
Gráfico 30: Diagrama-Sistema Automático Invernadero 91
Gráfico 31: Interfaz gestión de invernaderos 92
Gráfico 32: Interfaz gestión de cultivos 92
Gráfico 33: Interfaz gestión de cultivos 92
Gráfico 34: Interfaz reportes 92
Gráfico 35: Diagrama de base de datos 93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de comparación de las técnicas de riego 25
Tabla 2: Ficha técnica Arduino UNO 40
Tabla 3: Ficha técnica Arduino MEGA 41
Tabla 4: Diferencias entre sensor DHT11 y DHT22 45
Tabla 5: Características ZigBee 47
Tabla 6: Estructura del invernadero 58
Tabla 7: Aula PUCE-SI 59
Tabla 8: Planta de riego 60
Tabla 9: Cortinas del invernadero 61
Tabla 10: Ficha de documento IEEE 830 62
Tabla 11: Validación del documento IEEE 830 62
Tabla 12: Analista-programador 63
Tabla 13: Asesor de la investigación 63
Tabla 14: Colaborador de la investigación 64
Tabla 15: Definición y abreviaturas 64
Tabla 16: Referencias 65
Tabla 17: Usuario- Administrador del Sistema 67
Tabla 18: Usuario-Administrador 67
Tabla 19: Usuario-Invitado 67
Tabla 20: RF01 68
Tabla 21: RF02 68

Tabla 22: RF03.....69
Tabla 23: RF04.....69
Tabla 24: RF05.....70
Tabla 25: RF06.....70
Tabla 26: RF07.....70
Tabla 27: RF08.....71
Tabla 28: RF09.....71
Tabla 29: RF10.....72
Tabla 30: RNF01.....72
Tabla 31: RNF02.....73
Tabla 32: RNF03.....73
Tabla 33: RNF04.....73
Tabla 34: Configuración de la comunicación Ethernet.....75
Tabla 35: Ficha del documento IEEE 1362.....79
Tabla 36: Validación del documento IEEE 1362.....79
Tabla 37: Analista- programador.....80
Tabla 38: Asesor de la investigación.....80
Tabla 39: Colaborador de la investigación.....81
Tabla 40: Referencia del documento.....81
Tabla 41: Usuario operario.....83
Tabla 42: Usuario administrador del sistema-Sistema propuesto.....86
Tabla 43: Usuario administrador-Sistema propuesto.....87
Tabla 44: Usuario invitado-Sistema propuesto.....87
Tabla 45: Bitácora de pruebas.....89

ÍNDICE ANEXOS

Anexo I: Certificación antiplagio 99
Anexo II: Certificado de satisfacción del cliente..... 100
Anexo III: Acta Entrega-Recepción 101
Anexo IV: Imágenes de socialización 102
Anexo V: Formato de entrevista..... 103

Anexo VI: Manual de usuario del SAI 104
Anexo IV: Diagrama componentes electrónicos 115

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló para la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, en donde el sector agrícola existe cultivos que tienen un bajo grado de resistencia a condiciones adversas o cambios ambientales, por lo que se los protege bajo invernadero para controlar un ambiente óptimo. Además, el manejo de riego tiene un papel fundamental para asegurar un buen desarrollo y producción de los cultivos.

Es por ello que el sistema automatizado desarrollado, tiene como objetivo proporcionar al personal que pertenece a la ECAA un control automatizado del invernadero, que consiste en automatizar el sistema de riego en base al cálculo de la evapotranspiración diaria, utilizando sensores y placas microcontroladoras que permitirán de igual manera el control de las variables ambientales para la apertura o cierre de las cortinas, con el objetivo de tener un mejor ambiente de crecimiento para las plantas. Todo esto se podrá ser monitoreado por un sistema web y por el tablero de control dentro del invernadero.

Finalmente, esto se desarrolló en base a la entrevista y fichas de observación, evidenciando el estado actual de control del invernadero y estableciendo los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto, así mismo se determinó las herramientas idóneas para el desarrollo del aplicativo.

Palabras clave: sistema web, invernadero, control, monitoreo, evapotranspiración, variables ambientales, automatización, riego, producción, cultivo.

ABSTRACT

This project was developed for the School of Agricultural and Environmental Sciences of the Pontificia Universidad Católica of Ecuador campus Ibarra, where the agricultural sector has crops that have a low degree of resistance to adverse conditions or environmental changes, so they are protected. under greenhouse to control an optimal environment. In addition, irrigation management plays a fundamental role in ensuring good crop development and production.

That is why the automated system developed aims to provide the staff belonging to the ECAA with automated control of the greenhouse, which consists of automating the irrigation system based on the calculation of daily evapotranspiration, using sensors and microcontroller boards that will allow in the same way the control of the environmental variables for the opening or closing of the curtains, with the objective of having a better growth environment for the plants. All this can be monitored by a web system and by the control panel inside the greenhouse.

Finally, this was developed based on the interview and observation sheets, evidencing the current state of control of the greenhouse and establishing the necessary requirements for the development of the project, as well as determining the ideal tools for the development of the application.

Keywords: web system, greenhouse, control, monitoring, evapotranspiration, environmental variables, automation, irrigation, production, cultivation.

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años la agricultura ha ido cambiando paulatinamente, sus métodos clásicos evolucionaron o han sido sustituidos por otras técnicas de cultivo en la última década, pero sus líneas de cultivo han sido expandidas gracias al desarrollo de invernaderos.

El cultivo bajo invernadero es una buena solución para conseguir productos de muy buena calidad y poder extender el crecimiento de la planta en épocas complicadas del año. Sin embargo, el desconocimiento de cómo trabajar dentro de un invernadero en la falta de personal capacitado para controlar las variables ambientales y el sistema de riego, por ende, la planta estará perjudicada en su producción o el trabajo previo quedará asolado.

En la actualidad, el invernadero de la Granja de la PUCE-SI es operado por trabajadores de la Universidad, el cual lo monitorean de manera manual, donde cada decisión tomada por el trabajador puede ser perjudicada o favorecida a la producción del invernadero, todo esto es en función del criterio del operario. Es aquí donde entra la automatización, para facilitar la tarea de los operadores.

Mediante el monitoreo automático del control de variables ambientales, se puede optimizar el desarrollo de los cultivos de forma adecuada. El proyecto tiene como objetivo beneficiar los sistemas agrícolas tradicionales por medio de sensores y placas electrónicas programadas para cumplir dichas tareas que realizaría las personas encargadas de los invernaderos.

Inicialmente se realizó un análisis documental de proyectos de investigación y una recabación teórica, la cual brinda una introducción de los invernaderos y sus características esenciales para tener un buen cultivo, para luego detallar el sistema de riego y la ecuación aplicar para la automatización, además se presenta el sistema de ventilación, todo esto antes de detallar las tecnologías a utilizar tanto en sensores, comunicación inalámbrica y placas microcontroladoras, se indica también las herramientas de desarrollo para el sistema web, la base de datos a utilizar y finalmente la metodología aplicar. Esto es necesario para tener un claro entendimiento del por qué y con qué finalidad se crea el sistema.

Luego se detalla los métodos, herramientas y proceso de creación de un sistema utilizando la metodología XP, donde se puede observar los requisitos funcionales y no funcionales en base a la creación del sistema, utilizando como protocolos el IEEE 830 y el IEEE 1362.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Implementar un sistema automatizado de riego y manejo de condiciones climáticas bajo invernadero, controlado por comunicación inalámbrica para mejorar la productividad en La Granja en la PUCE-SI.

Objetivos Específicos:

Analizar el estado actual del invernadero de la Granja revisando fuentes de información directas para una mayor comprensión del sistema a desarrollar.

Describir los procesos de La Granja para mantener el control de las variables ambientales gestionadas en el invernadero para establecer los requisitos del sistema.

Diseñar el sistema automatizado aplicando la metodología XP que permita controlar y monitorear las variables ambientales del invernadero.

Evaluar el desempeño del invernadero para validar los requisitos establecido por parte de los encargados de La Granja.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

ESTADO DEL ARTE

La agricultura debe adaptarse a las nuevas tecnologías, en la cual la mayoría de ellas tratan de aumentar su producción agrícola. A continuación, algunos de los estudios desarrollados en este contexto son los siguientes:

Según Tognoni & Alpi (1999) dan a conocer sobre las características principales que debe conformar un invernadero. Como punto de partida, especifica la estructura que debe conformarlo usando los materiales adecuados para una mejor producción. Además, toma en cuenta los diferentes factores ambientales que se debe tener, como son: temperatura, luz, humedad y anhídrido carbónico. De igual manera, se especifica las regulaciones que debe tener las variables para tener un mayor control en el desarrollo y producción vegetal.

Al igual que el presente proyecto toma en consideración información necesaria sobre el cultivo en invernadero para dar un punto de partida a la investigación, el cuál facilitá el estudio bibliográfico de los parámetros climáticos que debe tener el invernadero en el que se va a trabajar.

En el trabajo de Rodriguez Ramirez, García Ortega, Vásquez Gamboa, & Juarez Mendoza (2017) brinda una solución práctica a la necesidad de controlar el ambiente para la producción de productos agrícolas fuera de temporada o de cultivo no endémico. Proponiendo un sistema que controle el clima de producción, utilizando un invernadero tipo túnel y tecnología Arduino. Con un sistema de riego de cultivo utilizando sensores de humedad, que activan las bombas de agua y repartirla en las plantas según les corresponda. De igual manera, permite el uso de sensores de temperatura para la ventilación. Cuando detecta que el ambiente es demasiado caluroso, enciende el ventilador colocado en el invernadero para mantener la temperatura óptima sin afectar los frutos y plantas. Por último, el sistema registra todos los indicadores mediante el monitoreo y poder saber el comportamiento de la producción.

El mencionado proyecto se vincula con la investigación en curso debido a que propone utilizar la tecnología Arduino a la automatización del invernadero, la cual se utiliza en la investigación.

También, se da a conocer cómo se utilizan los sensores de las diferentes variables que se van a capturar mediante el monitoreo automatizado.

En el estudio de Ossa Duque (2017) establece una plataforma de control y monitoreo de variables ambientales para una agricultura precisa, flexible y de bajo costo. La construcción de esta plataforma adopta la tecnología de red de sensores inalámbricos, basada en el protocolo de comunicación Zigbee, utilizando el sistema integrado Arduino, utilizando software y hardware gratuitos. La red consta de un nodo central (coordinador) y dos nodos, donde se conectan sensores para leer las variables ambientales y mostrarlas en un entorno gráfico. Finalmente, suba los datos a la nube para que los usuarios puedan acceder a la información en tiempo real desde cualquier lugar.

La relación con el proyecto propuesto se realizó una investigación sobre la comunicación inalámbrica que se va a utilizar, donde se propone la utilización de comunicación Zigbee y Arduino para poder obtener las variables ambientales y poder mostrar la información en cualquier momento.

Mamani, Villalobos, & Herrera (2017) desarrollaron un sistema web para realizar el monitoreo mediante la captura de variables climáticas dentro del invernadero, en el cual se instalan sensores y microcontroladores, y los datos se observan a través de una aplicación web en Internet.

El proyecto propuesto integra un sistema web, sobre el cual se realiza a cabo el monitoreo, control y registro de las variables ambientales que se den en el invernadero.

Finalmente, con la investigación de los trabajos citados, se puede constatar que las nuevas tecnologías son influyentes en la agricultura, en las cuales brindan las ventajas considerables que trae en si la automatización y como la producción en invernadero brinda productos de alta calidad manteniendo un control ser el mismo.

1.1. Invernadero: aspectos generales

Durante muchos años la agricultura ha ido cambiando paulatinamente, sus métodos clásicos evolucionaron o han sido sustituidos por otras técnicas de cultivo en la última década, pero sus líneas de cultivo han sido expandidas gracias al desarrollo de invernaderos.

Un invernadero “es una construcción cerrada y compuesta por una estructura, generalmente metálica, que sirve de soporte a una cubierta formada por materiales traslúcidos, dentro de la cual es posible obtener un microclima que favorece la producción controlada de cultivos agrícolas” (Vega, 2017).

Vinculado a esto, la peculiaridad que deben poseer los invernáculos para ser un medio idóneo para la producción, son eficiencia y funcionalidad. Según Norma Iglesias (Iglesias, 2006) se lo define así:

> Se entiende por eficiencia a la capacidad para acondicionar algunos de los principales elementos del clima dentro de límites bien determinados y de acuerdo con las exigencias fisiológicas de los cultivos, y funcionalidad al conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernáculo, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Cabe recalcar que la protección de los cultivos agrícolas “debe aumentar significativamente la seguridad del cultivo, así como permitir la obtención de productos de la máxima calidad, asegurando frente a algunos fenómenos climáticos nocivos como el granizo, las lluvias torrenciales, los fuertes vientos, las heladas, etc.” (Adlercreutz, y otros, 2014).

1.1.1 Riego

El sistema de riego es necesario cuando el suelo no tiene suficiente agua o no es oportuna su disponibilidad por medio de la lluvia o de fuentes naturales. Es por esto que se aporta la cantidad de agua necesaria cuando se necesita, humedeciendo el suelo a la profundidad requerida por el cultivo.

Igualmente, si a la planta se riega demasiada agua el oxígeno será muy escaso para sus raíces, afectando su desarrollo durante todo su ciclo.

Como dice Cisneros Almazán (2003) esta práctica ha dado como resultado un alto rendimiento y ha hecho más eficiente el uso de los recursos. De esta manera, se obtiene productos de mejor calidad y permitiendo la continuidad de la cosecha cuando las condiciones no son las adecuadas en las épocas del año.

1.1.2 Suelo

“La textura de un suelo es una propiedad que da mucha información sobre el comportamiento de este respecto a los vegetales, la circulación del agua y la erosión, porque condiciona en gran parte la estructura, la porosidad, la capacidad de intercambio, etc.” (Molera Marimón & Llitjós Viza, 1995).

El aspecto más importante para la gestión de proyectos de riego es el suelo, debido a que se clasifican por su textura en suelos arenosos, suelos arcillosos, suelos limosos y suelos francos, o mezclas de estos.

1.1.2.1 Tipos de suelo

Suelos arenosos: tipo de suelo propenso a la erosión por el agua y el viento, permiten trabajar de manera mucho más fácil por su plasticidad, pero no retienen buena cantidad de agua, de esta manera no obtienen buenos materiales orgánicos.

Suelos arcillosos: es un suelo pesado, de lo cual no permite el drenaje fácilmente, este tipo de suelo no funcionará correctamente a menos que tenga un buen sistema de surcos y grietas.

Suelos limosos: Es un suelo muy compacto y muy fértiles, son creados por los sedimentos de lino transportados por los ríos, el viento y la lluvia.

Suelos francos: se lo conoce de mejor manera por la mezcla de algunos tipos de suelo, mantienen un equilibrio de los componentes del suelo, el cual le da una ventaja considerable teniendo mayor producción agrícola.

De toda el agua que puede almacenar el suelo, no toda está disponible para las plantas y lo que está disponible, no todo puede ser absorbido por igual. (WWF/Adena, 2005)

Definiendo los siguientes conceptos: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua útil para las plantas y agua fácilmente utilizable por las plantas; cada uno de estos conceptos se explica a continuación.

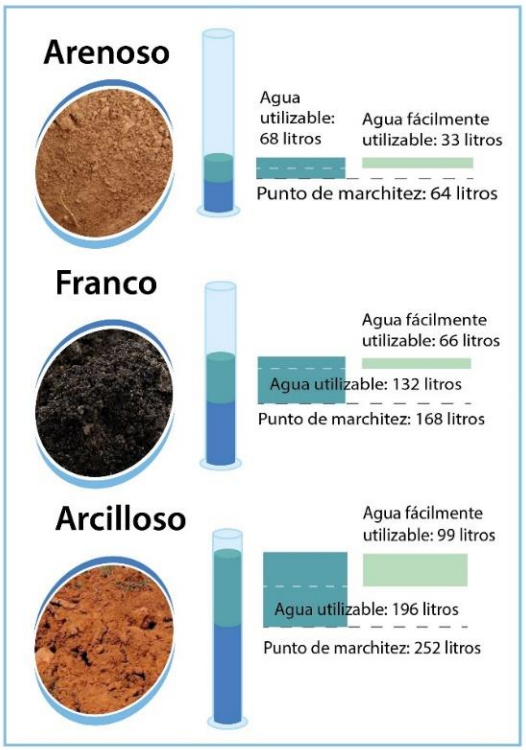


Gráfico 1: Almacenamiento de agua en el suelo.
Fuente: (WWF/Adena, 2005)

1.1.3 Propiedades del suelo desde la perspectiva de disponibilidad de agua para plantas

1.1.3.1 Capacidad de campo

Es la cantidad de agua que el suelo puede retener después de 48 horas de relleno a su máxima capacidad, saturación y drenaje; es decir, es la cantidad total de agua que puede contener el suelo. Cuando la tierra se encuentra en capacidad de campo, el esfuerzo que requiere la planta para absorber dicha agua es bajo.

1.1.3.2 Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente es la cantidad de agua almacenada en el suelo, pero no disponible para las plantas, que se marchitarán y morirán; globalmente un punto de marchitamiento constante corresponde al 56% de la capacidad de campo; es decir, por ejemplo,

si el suelo tiene una capacidad de campo de 300 l/m3 en el momento de marchitarse, aún contendrá 168 l/m3, pero la planta no podrá utilizar esta cantidad.

1.1.3.3 Agua útil para las plantas

Existe una diferencia de volumen de agua entre volumen de campo y punto de marchitamiento constante, como en el caso anterior, si el campo tiene una capacidad de 300 l/m3 y punto de marchitamiento de 168 l/m3, la cantidad de agua disponible para las plantas será 132 l/m3; esta es la cantidad real de agua que la planta puede tomar del campo.

1.1.3.4 Agua fácilmente utilizable para las plantas

Es la cantidad de agua que la planta puede absorber fácilmente sin afectar su capacidad de producción; por lo tanto, dependiendo de la especie de planta, pero sobre todo con fines agrícolas, teniendo en cuenta que la cantidad de agua fácilmente disponible en plantas menos tolerantes a la sequía representa el 50% del agua utilizada, en plantas más sensibles, 25-30%.

1.1.4 Técnicas de riego

Después de entender la importancia del riego para los cultivos protegidos y la cantidad de factores que los afectan, es necesario determinar la técnica o método de riego, teniendo en cuenta varios aspectos importantes para elegir el mejor.

Para poder entender un poco la relación entre técnica de riego y un sistema de riego, debemos diferencias sus definiciones. Se conoce a la técnica de riego a la manera como es distribuida el agua a las plantas, y por sistema de riego como el conjunto de equipos y técnicas que son encargados del riego por un método en específico. En el estudio de Pablo Enrique Demin (2014) resalta que hay muchos métodos de riego diferentes, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Es importante que el sistema de riego sea lo más eficiente posible para que haya más agua disponible para las plantas. La elección del sistema a utilizar dependerá del caso concreto.

Antonio Jesús Zapata Sierra (2020) clasifica a los métodos de riego por: superficie, aspersión y localizado. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

1.1.4.1 Riego por superficie

Fernández Gómez y varios autores (2010) manifiestan que:

> El riego por superficie es un método de riego que consiste en aplicar el agua al suelo por gravedad. Engloba una gran cantidad de sistemas diferentes en los que el agua se aporta a la parcela y el suelo la distribuye a lo largo y ancho cubriendo la totalidad o sólo parte de su superficie. Una vez que el agua llega al punto de la parcela donde será aplicada, no es preciso suministrarle presión ya que se vierte y discurre libremente.

En resumen, el sistema de riego superficial tiene un bajo costo de inversión, requiere mucho espacio de campo para circular por los canales de agua y regar los cultivos, pero si no se maneja adecuadamente, operará de manera ineficiente.

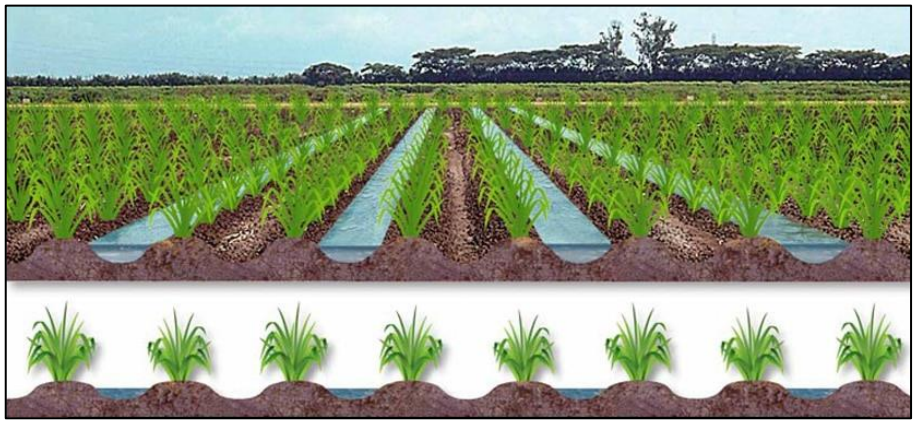


Gráfico 2: Por surcos constantes
Fuente: (Culturas, 2018)

1.1.4.2 Riego por aspersión

La junta de Andalucía (2010) resalta que el riego por aspersión es un método en el que se suministra agua a toda la superficie de la tierra en forma de lluvia, a través de una red de riego que permite distribuir el agua con la presión adecuada a los elementos encargados del abastecimiento, es decir, los aspersores.

En conclusión, cabe señalar que los sistemas de riego por aspersión son muy utilizados en grandes superficies para permitir el riego de terrenos irregulares y una gran variedad de suelos.

La principal desventaja es el costo económico de implementación y mantenimiento, ya que el agua se distribuye de manera desigual, lo que reduce la eficiencia del sistema de riego.



Gráfico 3: Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión
Fuente: (Fernandéz Gómez , y otros, 2010)

1.1.4.3 Riego localizado

La consejería de agricultura y pesca de Andalucía (2010) describe que:

> El riego localizado utiliza mangueras de presión y emisores de diferentes formas para llevar agua a la superficie del suelo o debajo de ella, de modo que solo se humedezca el suelo más cercano a la planta. El agua suministrada por cada emisor humedecerá un volumen de suelo conocido como burbuja húmeda.

De hecho, este método ayuda a controlar la distribución del agua sin desperdiciar recursos de manera significativa, a diferencia de los métodos descritos anteriormente. Como resultado, la cosecha da un mayor rendimiento y muy buena calidad.



Gráfico 4: El riego localizado está especialmente recomendado en cultivos en línea.
Fuente: (Fernández Gómez, y otros, 2010)

1.1.4.4 Comparación de las técnicas de riego

A continuación, se muestra una tabla comparativa de algunos de los factores que se deben considerar al elegir uno de los métodos de riego descritos anteriormente:

Tabla 1: Tabla de comparación de las técnicas de riego

Factores	Riego de superficie	Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Abastecimiento del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Infiltración del suelo	Baja a medida	Media a alta	Cualquiera
Almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante

Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad del déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Coste de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Coste de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

Fuente: (Santos, De Juan, Picornell, & José, 2010)

La tabla muestra los diversos factores que influyen en la elección del método de riego. En este caso, el proyecto utiliza un invernadero con un sistema de riego localizado.

1.1.5 Riego localizado

La importancia del riego localizado es humedecer la superficie del suelo lo más cerca posible de la planta, con moderación y con frecuencia. De esta forma, el contenido de agua del suelo se mantendrá constante y se podrá evitar el estrés hídrico, lo que mejorará en gran medida el crecimiento de las plantas. Por otro lado, existen diferentes tipos de riego localizado, tales como: microaspersión y microdifusión, tuberías emisoras y por goteo.

Algunas de las ventajas y desventajas de este tipo de riego se detallan a continuación:

Ventajas

- Ahorro de agua.
- Uniformidad de aplicación.
- Menor presencia de maleza.
- Fertilizar a través del sistema.

- Permite la automatización.
- Aprovechamiento de terrenos marginales.
- Mejora la producción y calidad de productos.

Desventajas

- Costo elevado de adquisición e instalación.
- Consumo de energía.
- Necesidad de un buen diseño.
- Necesidad de mantenimiento y limpieza del sistema.

Para este método de riego, cabe señalar que se puede automatizar, lo que tiene el efecto de guiar el avance de las técnicas de producción de cultivos, ahorrando significativamente el esfuerzo humano, pero para este método se requiere investigación sobre las necesidades hídricas de los cultivos.

1.1.6 Necesidades hídricas de los cultivos

Antonio Martínez (2004) en su artículo resalta conocer las necesidades de agua de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, la planificación y la gestión de los vertederos y los sistemas de riego. Entonces, para lograr un buen programa de riego, es mejor seguir un proceso razonable para obtener la cantidad correcta de agua para las necesidades de su planta, sin exceder ni minimizar los requisitos específicos, y adherirse a sus limitaciones.

La FAO establece a la evapotranspiración como uno de los mejores métodos estandarizados utilizados por los expertos para estimar la cantidad de agua que debe ser distribuida en el cultivo.

1.1.7 Proceso de evapotranspiración

Las superficies terrestres y marinas pierden agua durante la transpiración y la evaporación, respectivamente. Asimismo, ocurre un proceso similar en los cultivos a medida que el suelo se evapora y las plantas transpiran.

1.1.7.1 Evaporación

La evaporación es generalmente el proceso de convertir el agua en su estado natural en vapor de agua, que se elimina de la superficie de evaporación y se transfiere a la atmósfera. La FAO (FAO, 2006) sostiene que varios cambios climatológicos influyen en este proceso:

> Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación. (p. 1)

1.1.7.2 Transpiración

Se basa en la pérdida de agua, junto con algunos nutrientes que se encuentran en los tejidos vegetales, principalmente de las estomas, y luego se transfieren a la atmósfera. Al igual que la evaporación depende de cambios climatológicos, en este caso la FAO (2006) establece que:

> Depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo. Diversas clases de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo, sino también su

estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración. (p. 3)

1.1.7.3 Evapotranspiración

De las definiciones anteriormente explicadas, se determina que son procesos diferentes que se realizan de forma independiente, pero que se complementan para obtener de esta manera la evapotranspiración.

1.1.8 Factores que influyen en la evapotranspiración

Se generaron procedimientos para determinar la evaporación a partir de los parámetros climáticos que afectan la evaporación como son la temperatura del aire, la radiación, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

También, las plantas con diferentes características o de la misma especie en el proceso de desarrollo poseen diferentes propiedades que dan como resultado la variación en la evapotranspiración. Así es como el cálculo de agua es diferente y afecta al proceso de ET.

Esto es conocido como factores de cultivo que según la FAO (2006) son tipos y variedades de cultivo, diferencias en la resistencia a la transpiración, altura, rugosidad y características de las raíces de las plantas.

Por último, se encuentra el manejo y condiciones ambientales, son más específicos para cada planta y suelo, estos factores según la FAO (2006) son: salinidad o poca fertilidad en el suelo, uso de fertilizantes, horizontes duros en el suelo, presencia de enfermedades y parásitos, cubierta del suelo y densidad del cultivo, la cantidad de contenido de agua en el suelo, etc.

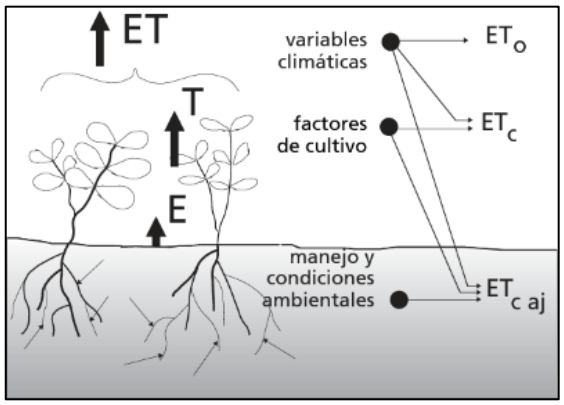


Gráfico 5: Factores que afectan la evapotranspiración
Fuente: (FAO, 2006)

1.1.9 Conceptos de evapotranspiración

En evapotranspiración se abarcan tres diferentes conceptos, los cuales se derivan en formas de calculo que son: evapotranspiración de cultivo de referencia ETo, evapotranspiración de cultivo bajo condiciones estándar ETc y evapotranspiración de cultivo bajo condiciones no estándar ETc aj.

En primer lugar, la evapotranspiración de cultivo de referencia la FAO (2006) expresa que la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia. Es decir, es el punto de partida que obteniendo su valor puede ayudar a identificar el equipo más económico que logra una mayor productividad en los cultivos dependiendo de las condiciones climáticas de una localidad y época del año específicas. Hay una variedad de fórmulas para calcular ETo, en donde FAO Penman-Monteith es el método estándar para el cálculo de evapotranspiración de referencia ETo.

Cualquier cultivo que esté en buenas condiciones, libre de enfermedades, bien fertilizado, parcela grande y condiciones óptimas de suelo y agua para un rendimiento máximo se conoce como evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar que se denomina ETc.

Es muy complicado realizar el cálculo de cada tipo de planta, la FAO relaciona ETc con ETo usando el método de Penman-Monteith junto con un coeficiente de cultivo Kc, de manera que:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Tomemos en cuenta que Kc varía entre cultivos, e incluso en el mismo cultivo en diferentes épocas de cosecha, debemos recordar que Kc debe determinarse precisamente de acuerdo con la etapa del cultivo.

Por último, la evapotranspiración de cultivo en condiciones no estándar ETc aj esto es muy diferente a la situación inversa donde condiciones de manejo tales como enfermedades, plagas, salinización del suelo, mala fertilidad, falta o exceso de agua impiden el crecimiento óptimo del cultivo y por lo tanto se produce un cambio en la tasa de evapotranspiración.

1.1.10 Ecuación Penman-Monteith de la FAO

La medición de la evapotranspiración requiere mediciones específicas de varios parámetros físicos. Sobre esa base, con el tiempo, se han desarrollado ecuaciones basadas en la experiencia con el uso de datos meteorológicos. José Manuel Hernández Abreu (2008) considera que el método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ETo. La ET del cultivo bajo condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes de cultivo (Kc) que relacionan la ETc con la ETo. La ET de superficies cultivadas bajo condiciones no estándar se ajusta mediante un coeficiente de estrés hídrico (Ks) o modificando el coeficiente de cultivo.

El resultado de modificar los cuatro métodos de cálculo de ETo permite a Penman obtener la ecuación con el menor error posible en relación con el cultivo de referencia.

$$ET_o = \frac{0{,}408\ \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0{,}34\ u_2)} \qquad (6)$$

donde:

ET_o	evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})
R_n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m^{-2} día^{-1})
R_a	radiación extraterrestre (mm día^{-1})
G	flujo del calor de suelo (MJ m^{-2} día^{-1})
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u_2	velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})
e_s	presión de vapor de saturación (kPa)
e_a	presión real de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C^{-1})
γ	constante psicrométrica (kPa °C^{-1})

Gráfico 6: Ecuación FAO Penman-Monteith
Fuente: (FAO, 2006)

Esta ecuación le permite comparar ET en diferentes períodos de tiempo y relacionarlos con otros cultivos. Para garantizar la precisión de los cálculos, utiliza datos climáticos como la radiación solar, la temperatura y la humedad del aire y la velocidad del viento. “La ecuación FAO Penman-Monteith es una representación clara, precisa y sencilla de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan la transpiración”. (FAO, 2006)

1.1.11 ETo diario

Para determinar la evapotranspiración, se necesitan los siguientes datos climáticos:

- Temperaturas máxima y mínima diarias, Tmax y Tmin.
- Humedad del aire
- Velocidad de viento, tomado como valor promedio diario la velocidad del viento a 2 metros de altura.
- Radiación neta diaria, mediad o calculada a partir de la radiación de onda corta y larga.

1.1.12 Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar

“La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia ETo en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto”. (FAO, 2006)

El valor obtenido por las diferencias de las características se lo conoce como coeficiente de cultivo. Este es usado para calcular la evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar con la siguiente ecuación:

$$ETc = Kc \times ETo$$

La anatomía de la hoja, las propiedades aerodinámicas, las características de las estomas e incluso el albedo hacen que la evapotranspiración de la planta sea diferente a ETc.

Tomemos en cuenta que Kc varía en su etapa inicial, en etapa de desarrollo del cultivo, en etapa de mediados de temporada o en etapa de finales de temporada, de esta manera:

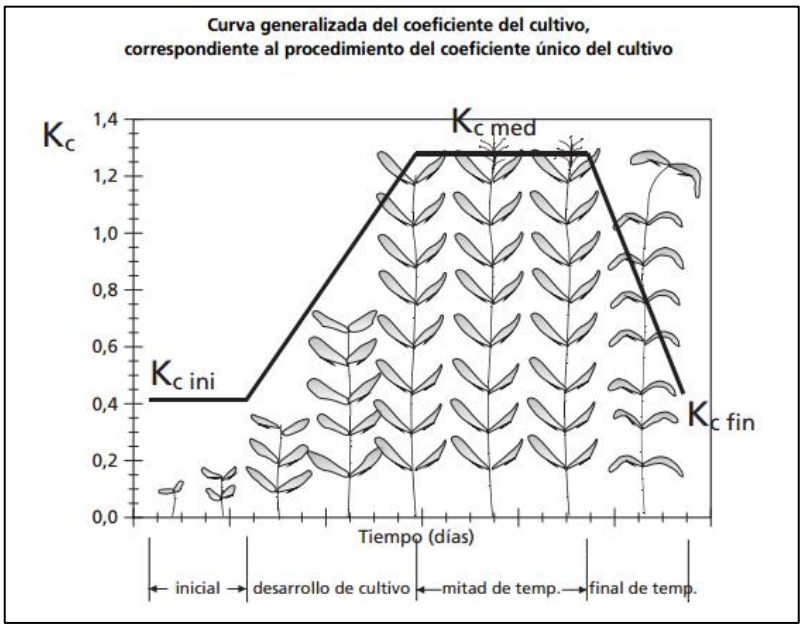


Gráfico 7: Coeficiente de cultivo
Fuente: (FAO, 2006)

1.1.13 Condiciones ambientales óptimas bajo invernadero

Dentro del invernadero, nuestro cultivo está sujeto a menor riesgo de producción, ya que al estar en una estructura lo protege de enfermedades o fenómenos naturales. Los tres factores que influyen en este diseño son la temperatura, la humedad del suelo y la humedad relativa.

En primer lugar, la temperatura interviene junto a otros factores para ciertas funciones, como abrir o cerrar estomas, que son esenciales para los importantes procesos de fotosíntesis, transpiración y respiración en las plantas. Por tanto, para los procesos biológicos del cultivo, es necesario conseguir la temperatura óptima para una buena cosecha.

La humedad del suelo tiene un papel importante en la evapotranspiración con la mano del sistema de riego debido a que las plantas deben estar en el rango de humedad óptimo porque sin suficiente agua, las plantas no podrán absorber los nutrientes del suelo y, por el contrario, si hay demasiada agua, las plantas se regarán en exceso y esto las afectará en sus procesos biológicos.

Por último, si la humedad relativa es demasiada alto, se reduce la transpiración y, por tanto, la absorción de nutrientes. Por lo contrario, si la humedad ambiental es muy baja, las estomas de la planta se cierran y la tasa de fotosíntesis se ralentiza.

En general, estos tres factores influyen demasiado en la producción por área de cultivo, siempre y cuando sus rangos por cultivo sean controlados de la mejor manera dentro del invernadero.

1.1.14 Ventilación bajo invernadero

La alta temperatura y humedad dentro del invernadero afecta la calidad del cultivo, por lo que un buen sistema de ventilación previene enfermedades renovando el aire al circularlo, reduciendo la humedad y la temperatura, logrando así los mejores resultados durante todo el ciclo de cultivo. Para poder realizar esta circulación de aire que se acumula en el interior se adaptan sistemas de ventilación por cenitales o en sus laterales, cubriendo por parte de ellos el 30% de la cubierta.

El invernadero utilizado en este proyecto utiliza ventilación lateral, permitiendo la entrada de aire para su renovación, estas pueden ser operadas de manera manual o por automatización.

Para automatizar la cortina de ventilación en el invernadero, es necesario utilizar un motor reductor fijado a la altura del centro de la cortina conectado al otro lado para enrollar el plástico y realizar el control climático, de esta manera logramos aprovechar los beneficios de un cultivo protegido bajo invernadero.



Gráfico 8: Ventilación en invernaderos
Fuente: (fitosofia, 2015)

1.2. Internet de las cosas

El término Internet de las cosas (IoT) se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana (Rose, Eldridge, & Chapin, 2015). Actualmente, mejorar la calidad de vida de las personas se logra adaptando el IoT a las nuevas tendencias del mercado tecnológico para que pueda estar conectado en todas partes e interactuar.

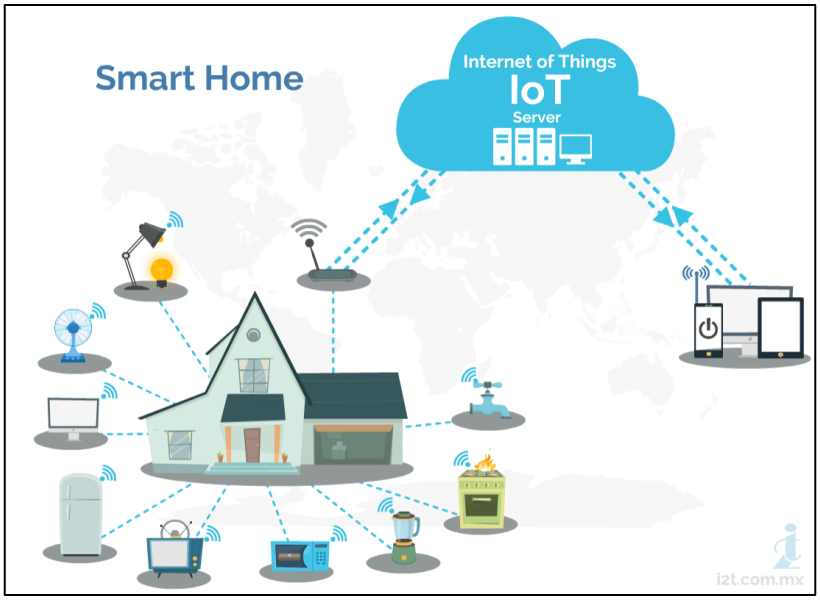


Gráfico 9: Aplicaciones de IoT
Fuente: (i2t Smart)

El IoT tiene un propósito que es que los objetos estén conectados a la red permitan realizar una acción remota o la recopilación de datos útiles para un procesamiento posterior. De esta manera, la evolución de la tecnología y la adaptación de las tecnologías existentes permitirán que todos los objetos del entorno se comuniquen de manera efectiva, haciéndolo todo más fácil.

1.2.1. Domótica e Inmótica

Martín Domínguez y Fernando Sáez (2006) expresa a la domótica como una vivienda que integra un conjunto de automatismos en materia de electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones, con el objetivo de asegurar al usuario un aumento del confort,

la seguridad, el ahorro energético, las facilidades de comunicación y las posibilidades de entretenimiento. Así, se pretende adaptar los aparatos tecnológicos del hogar para facilitar la vida a las personas garantizando la conformidad, la seguridad y el ahorro energético.

La palabra domótica es muy reconocida porque solo trae la automatización a hogares, pero en el caso de la inmótica se refiere a automatización, pero en lugares más grandes como edificios comerciales o de servicio dirigida a mejorar la producción de sus empleados. Podemos decir que la automatización de un invernadero entra en este apartado.

1.2.2. Automatización de un invernadero

Para aprovechar el uso de un invernadero es necesario que las condiciones climáticas y el riego dentro del mismo estén controladas, podemos realizarlo de dos maneras sea: manual o automático.

El control manual requiere de mucho trabajo por parte del personal responsable del invernadero, quien utilizando en mayor medida la experiencia, trae consigo una imprecisión en el control de las variables, por lo que se recurre a la semiautomatización o automatización de diversos factores ambientales para ejercer un control adecuado.

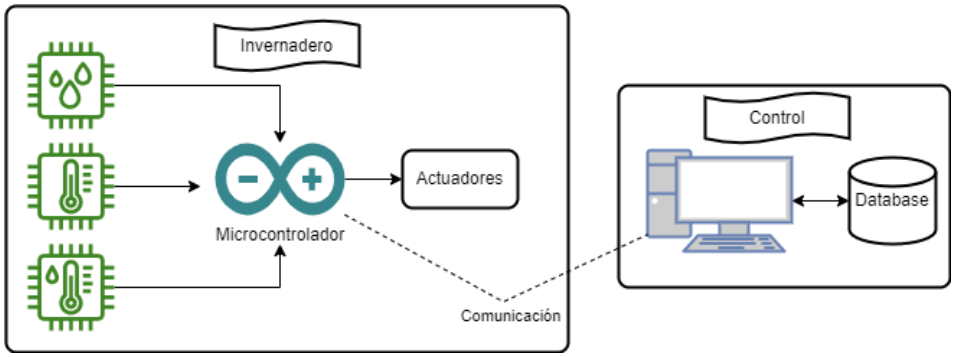


Gráfico 10: Sistema de automatización de un invernadero
Fuente: Andrés Dávila M.

Como demuestra la imagen, un sistema de automatización de un invernadero presenta sensores que van capturando valores, posteriormente son enviados a un microcontrolador, el cual decide si activar o desactivar los actuadores y, por último, toda esa información se visualiza en la interfaz de usuario del computador.

1.3. Placas microcontroladoras

El desarrollo de los dispositivos electrónicos se ha acelerado, su interconexión se realizaba antiguamente mediante una gran cantidad de cables agrupados individualmente en dispositivos grandes y voluminosos. Hoy en día, el desarrollo de circuitos integrados permite aumentar el rendimiento de dispositivos pequeños y confiables, llamados microcontroladores.

Un microcontrolador es un "circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos" (Peña, 2008). Gracias a que es programable, le permite ejecutar diversas aplicaciones, donde sus líneas de E/S admiten la conexión de los sensores y actuadores del dispositivo controlado, y todos los recursos adicionales están disponibles solo para satisfacer sus requerimientos.

Este se ha convertido en el punto de partida de futuros proyectos para reducir el costo y la complejidad del diseño de microcontroladores, por lo que existen placas microcontroladoras que combinan todos sus componentes en la placa base para realizar funciones específicas.

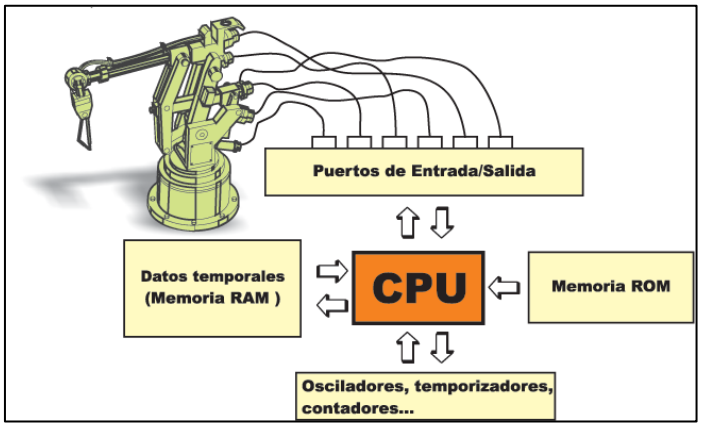


Gráfico 11: Arquitectura microcontrolador
Fuente: (Aprendiendo Arduino)

Las placas Arduino, Raspberry y BeagleBoard son las más utilizadas a nivel mundial en proyectos y aplicaciones de robótica, investigación y automatización por su alto reconocimiento en el mercado tecnológico.

Name	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Model Tested	R3	Model B	Rev A5
Price	$29.95	$35	$89
Size	2.95"x2.10"	3.37"x2.125"	3.4"x2.1"
Processor	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex-A8
Clock Speed	16MHz	700MHz	700MHz
RAM	2KB	256MB	256MB
Flash	32KB	(SD Card)	4GB(microSD)
EEPROM	1KB		
Input Voltage	7-12v	5v	5v
Min Power	42mA (.3W)	700mA (3.5W)	170mA (.85W)
Digital GPIO	14	8	66
Analog Input	6 10-bit	N/A	7 12-bit
PWM	6		8
TWI/I2C	2	1	2
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
Dev IDE	Arduino Tool	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Python, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Ethernet	N/A	10/100	10/100
USB Master	N/A	2 USB 2.0	1 USB 2.0
Video Out	N/A	HDMI, Composite	N/A
Audio Output	N/A	HDMI, Analog	Analog

Gráfico 12: Cuadro comparativo microcontroladores
Fuente: (Aprendiendo Arduino)

Tanto el Raspberry Pi como el BeagleBone son muy similares, mucho más potentes que otros microcontroladores, permitiendo realizar operaciones de programación mucho más complejas, mientras que el Arduino es una plataforma más flexible que permite conectarse a la gran mayoría de dispositivos tecnológicos.

1.4. Arduino

Después de investigar todas las placas antes, Arduino es la mejor opción para este proyecto, ya que le permite conectarse a diferentes sensores, procesar datos y tomar decisiones en operaciones de control. Además, disponemos de numerosas fuentes de información sobre el desarrollo de proyectos de automatización.

De acuerdo a Yúbal Fernández (2020) resalta que Arduino es una plataforma de desarrollo electrónico de código abierto basada en hardware y software libre que es flexible y fácil de usar para fabricantes y desarrolladores. Así, permite la interoperabilidad entre dispositivos, ya que

están equipados con módulos para networking, comunicación inalámbrica, etc. Permitiendo incorporar funcionalidades originales en proyectos. Para resaltar las características principales son:

- Hardware y Software libres
- Flexibilidad y versatilidad
- Amplia compatibilidad
- Lenguaje de programación de fácil comprensión
- Bajo precio
- Re-usabilidad
- Comunidad de desarrolladores
- La gama de productos de Arduino es muy diversa, entre los que destacan: placas de ordenador, módulos, shields, paquetes, accesorios, etc. Ensamblándose uno con otros para agregar más funciones y hacerlo más eficiente.

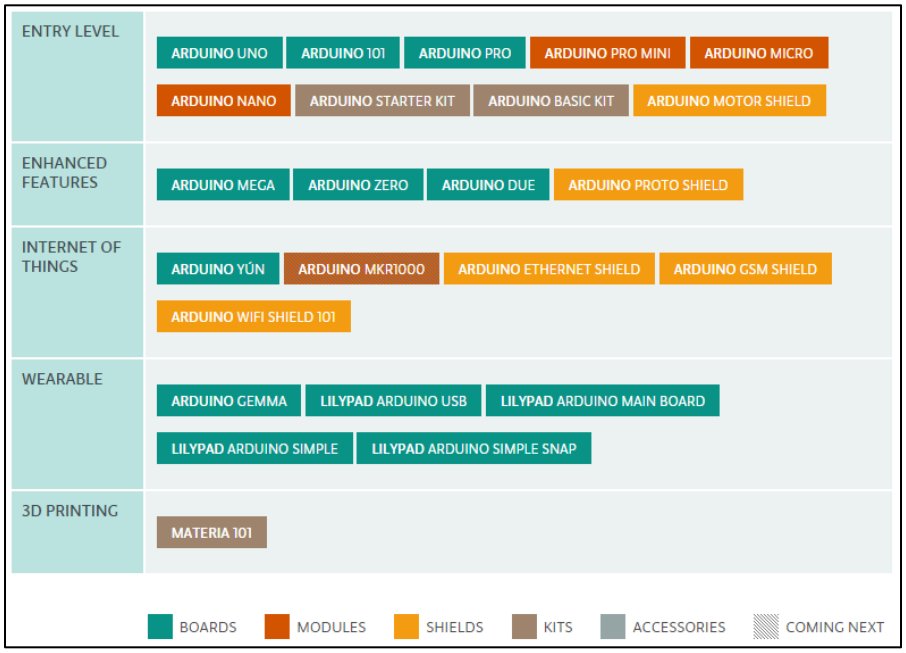


Gráfico 13: Clasificación de productos Arduino
Fuente: (Arduino, 2016)

Tiene una amplia gama de productos que pueden ser útiles para un propósito en particular u otro, por lo que es importante elegir la placa de circuito impreso adecuada para su aplicación

según el propósito, teniendo también en cuenta los módulos y los sensores que se utilizaron para el diseño. En el presente proyecto se utilizo los siguientes componentes de Arduino:

1.4.1. Arduino UNO

Fue la primera placa de este software de la que se tomó como referencia para el desarrollo de muchos productos que aún existen hasta el día de hoy.

Es una tarjeta electrónica con microcontrolador ATmega328P, utilizando el sistema de comunicación USB Atmega16U2, incluyendo elementos de polarización, conexión y programación. Además, con 14 pines de E/S y 6 entradas analógicas de acuerdo con las funciones que desea realizar y potencialmente programadas durante la instalación en el sistema, es decir, en producción, por lo que no necesita programar antes del ensamblaje. Está correctamente ensamblado para su correcto funcionamiento y en caso de fallo puede ser reemplazado por otro.

Tabla 2: Ficha técnica Arduino UNO

MICROCONTROLADOR	ATmega328P
TENSION DE FUNCIONAMIENTO	5V
VOLTAJE DE ENTRADA (RECOMENDADO)	7-12V
VOLTAJE DE ENTRADA (LIMITE)	6-20V
PINES I/O DIGITALES	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
PINES I/O DIGITALES PWM	6
PINES ENTRADA ANALOGICA	6
CORRIENTE CC POR PIN DE E/S	20 mA
CORRIENTE CC PARA CLAVIJA DE 3,3 V	50 mA
FLASH MEMORY	32 KB de los cuales 0.5 KB gestor de arranque
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
VELOCIDAD DEL RELOJ	16 MHz
LED_CONSTRUIDO	13

LOGITUD	68.6 mm
ANCHO	53.4 mm
PESO	25 g

Fuente: (Arduino, 2016)

1.4.2. Arduino MEGA

La placa Arduino MEGA 2560 es una evolución de Arduino UNO, tiene las características básicas de la primera versión, pero con un procesador mucho más potente y la capacidad de conectar más pines.

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales, 16 entradas analógicas, 4 UART, un oscilador de cristal de 16 MHz, conector USB, conector de alimentación, conector ICSP y botón de reinicio. Asimismo, es compatible con la mayoría de monitores diseñados para placas Uno y placas Duemilanove o Diecimila.

Tabla 3: Ficha técnica Arduino MEGA

MICROCONTROLADOR	ATmega2560
TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO	5V
VOLTAJE DE ENTRADA (RECOMENDADO)	7-12V
VOLTAJE DE ENTRADA (LÍMITE)	6-20V
PINES DE E/S DIGITALES	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
PINES DE ENTRADA ANALÓGICA	dieciséis
CORRIENTE CC POR PIN DE E/S	20mA
CORRIENTE CC PARA CLAVIJA DE 3,3 V	50mA
MEMORIA FLASH	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
VELOCIDAD DE RELOJ	16 MHz

LED_CONSTRUIDO	13
LONGITUD	101,52 mm
ANCHO	53,3 mm
PESO	37 gramos

Fuente: (Arduino, 2016)

1.4.3. Escudo Ethernet

Es una extensión compatible con las tarjetas UNO y MEGA, lo que les permite conectarse a una red local a través de Internet. Este escudo Arduino Ethernet permite que la placa UNO o MEGA se conecte a una red basada en un chip Wiznet W5001 Ethernet, proporcionando conectividad a una red de pila IP a través del protocolo TCP o UDP, además, está cubierta se conecta a la placa Arduino a través de los conectores debajo del escudo, dejando libres los pines analógicos y digitales.

Prácticamente, este shield es ideal para conectar un Arduino a una red y acceder a un servidor de aplicaciones o base de datos a través de él, lo que permite integrar Arduino en aplicaciones web.

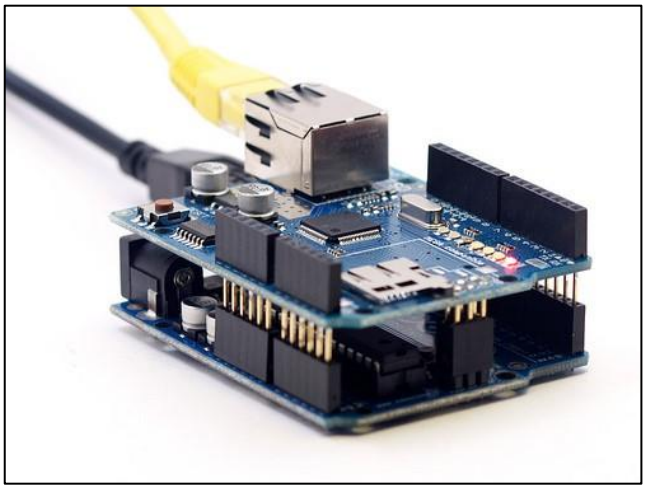


Gráfico 14: Arduino + Ethernet Shield
Fuente: (Arduino, 2016)

1.4.4. Escudo Xbee

El escudo Xbee le permite conectar la placa Arduino a los dispositivos Xbee de una manera más simple y fácil. La comunicación entre dos Xbees a través de un Arduino puede ser complicado,

especialmente si no tienes experiencia con este tipo de comunicación inalámbrica con Zigbee, pero para ahorrar tiempo y esfuerzo en este trabajo, existe el Xbee Shield que permite una comunicación de 30,5 m en interiores y 91,4 m en exteriores, al tiempo que reemplaza los puertos serie y USB.

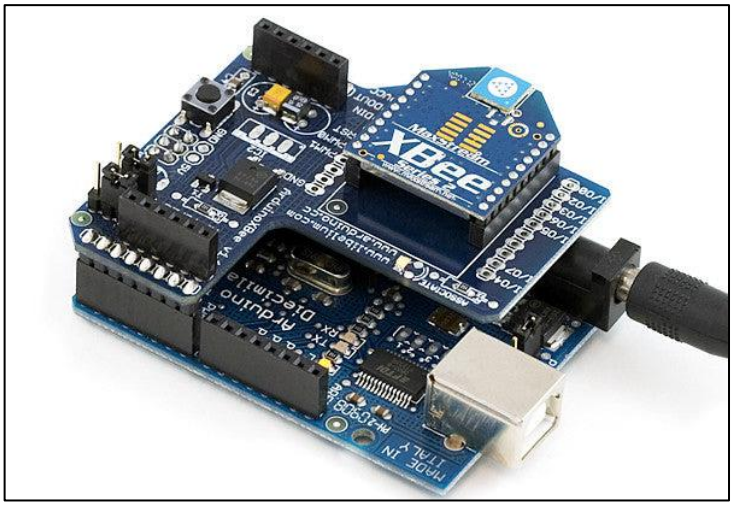


Gráfico 15: Xbee Shield
Fuente: (Arduino, 2016)

1.4.5. Módulo Relé Arduino

Un relé es un interruptor automático controlado por un pulso eléctrico que permite abrir o cerrar automáticamente un circuito eléctrico sin intervención de un usuario. Se utilizan principalmente en conexiones complejas, de forma que los relés del Arduino están completamente preparados para conectar los circuitos.

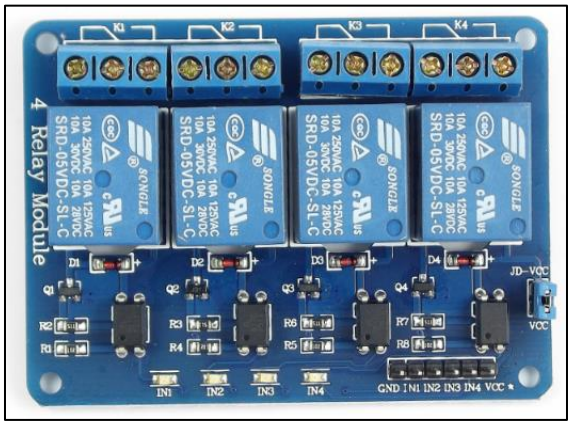


Gráfico 16: Módulo Relé 4 canales
Fuente: (Arduino, 2016)

1.5. Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar un estímulo, una señal física o química para enviar una indicación y asegurar la continuidad del proceso o detectar cambios; dependiendo del caso. Hay muchos tipos de sensores en el rango que son compatibles con una o más placas de microcontroladores, entre los cuales Arduino tiene una extensa lista de sensores que son muy fáciles de manipular datos a través de librerías Arduino nativas muy fáciles de usar e incorporar al proyecto.

1.5.1. Sensores de temperatura y humedad

Existe la posibilidad en Arduino de adaptar un sensor que tome valores de dos parámetros, este es el caso de la temperatura y la humedad relativa, brindando de esta manera dos opciones que son el sensor DHT11 y DHT22.

Estos dos sensores tienen una salida digital que le permite al Arduino leer los datos fácilmente, funcionan de manera similar, pero tienen diferencias físicas y diferencias en la precisión de la medición. La diferencia física a destacar es que el DHT11 es azul y más pequeño, mientras que el DHT22 es blanco y un poco más grande.

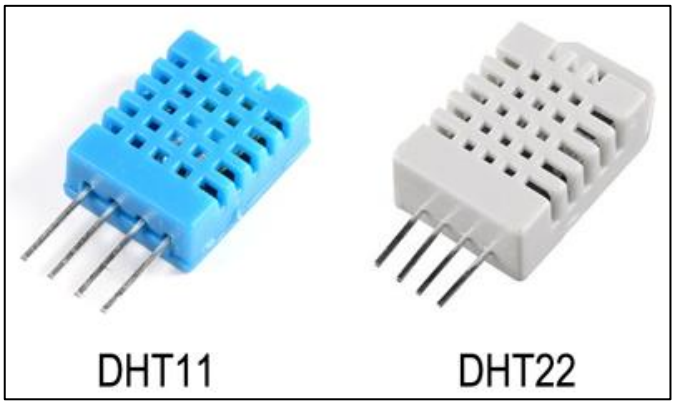


Gráfico 17: Sensores DHT y DHT22
Fuente: (Omniblug)

Por lo contrario, en la siguiente tabla daremos a conocer las características que diferencia un sensor de otro:

Tabla 4: Diferencias entre sensor DHT11 y DHT22

Parámetro	DHT11	DHT22
Alimentación	3Vdc ≤ Vcc ≤ 5Vdc	3.3Vdc ≤ Vcc ≤ 6Vdc
Señal de Salida	Digital	Digital
Rango de medida Temperatura	De 0 a 50 °C	De -40°C a 80 °C
Precisión Temperatura	±2 °C	<±0.5 °C
Resolución Temperatura	0.1°C	0.1°C
Rango de medida Humedad	De 20% a 90% RH	De 0 a 100% RH
Precisión Humedad	4% RH	2% RH
Resolución Humedad	1%RH	0.1%RH
Tiempo de respuesta	1s	2s
Tamaño	12 x 15.5 x 5.5mm	14 x 18 x 5.5mm

Fuente: (Omniblug)

Con la información recopilada de estos dos sensores, podemos destacar que el sensor de temperatura y humedad relativa utilizado en este proyecto es el sensor DHT11 ya que brinda un correcto funcionamiento y el requerimiento de rápida respuesta para realizar el proyecto de manera factible.

1.5.2. Sensor de humedad del suelo

En el caso de la humedad del suelo, podemos determinar dos tipos de sensores que son: capacitivos y resistivos. A continuación, se resalta un ejemplo utilizado por Javier N. (2017) en un repositorio digital en el que expone la utilización de diferentes sensores resistivos y capacitivos.

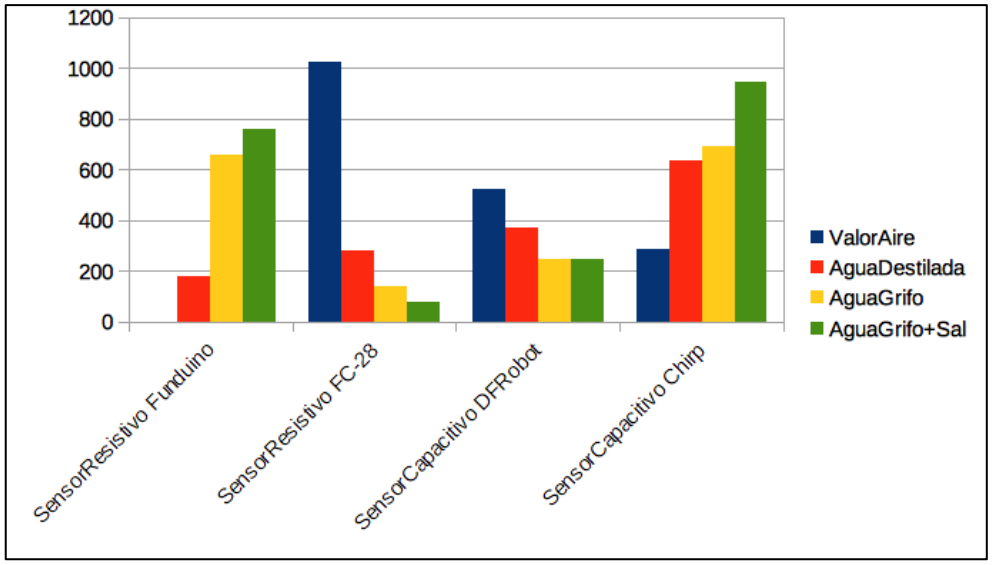


Gráfico 18: Gráfica de resultados de sensores capacitivos y resistivos
Fuente: (Foro del HackLab América, 2017)

En el gráfico podemos ver la diferencia de que la lectura del sensor de humedad del suelo tarda mucho tiempo y da una variación aleatoria en las lecturas. La gran influencia en esto es el tipo de agua utilizada, es decir, en las condiciones reales del suelo, será bastante difícil de manejar. y la calibración debe realizarse cada vez que se utilice. Si bien los sensores capacitivos son mejores, estabilizan las lecturas de datos muy rápidamente. Por lo tanto, en este proyecto se utilizó sensores de humedad del suelo capacitivos, porque da mayor precisión en la toma de datos y es algo que se necesita para la aplicación de la evapotranspiración.

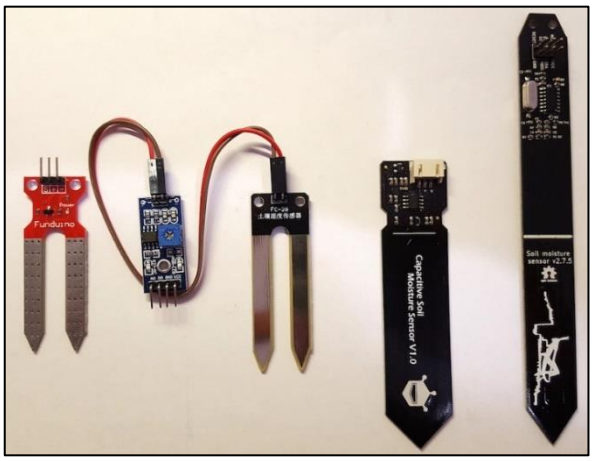


Gráfico 19: Sensores resistivos y capacitivos
Fuente: (Foro del HackLab América, 2017)

1.6. Comunicación inalámbrica en Arduino

La gran dependencia de Internet y la necesidad de conectarse en cualquier lugar y en cualquier momento ha llevado a avances significativos en las tecnologías móviles y de comunicación. Por eso, es importante ahora aplicar la comunicación inalámbrica en los sistemas de automatización porque de esta forma no se necesita una conexión física, en cuyo caso la transmisión de datos será a través de una señal electromagnética, con un menor costo de instalación y una manera sencilla de configurar.

1.6.1. ZigBee

Los protocolos ZigBee proporciona comunicación inalámbrica con dos dispositivos de baja potencia, utilizados principalmente en proyectos relacionados con redes de sensores en diversos campos de la automatización y el monitoreo del hogar. Algunas de sus características principales son:

Tabla 5: Características ZigBee

Velocidad	<250 kbps
Numero de nodos	255 / 65535

Duración batería	Años
Consumo transm.	30 ma
Consumo reposo	3 µa
Distancia max.	100 metros lugares abiertos
Precio	Bajo
Configuración	Simple
Aplicaciones	Domótica y monitorización

Fuente: Andrés Dávila M.

Las características detalladas anteriormente nos permiten concluir que la mejor opción para este proyecto es el protocolo de tecnología Zigbee, ya que corresponde a la distancia máxima requerida en el espacio abierto y, sobre todo, la transmisión de datos de una red de sensores.

1.6.2.1. Topología de red ZigBee

Primero debemos resaltar las 3 maneras diferentes en las que se puede configurar dentro de un Zigbee. El coordinator o coordinador es un dispositivo responsable de crear una red, proporcionar direccionamiento y controlar otras funciones que definen la red. Luego, el router o ruteador es un nodo que cuenta con todas las características de ZigBee, actuando como mensajero para la comunicación entre otros dispositivos que se encuentran demasiado alejados, y, por último, end device o dispositivo final son esencialmente versiones más pequeñas de un router, lo que significa que pueden conectarse a la red enviando y recibiendo datos, pero no pueden funcionar como mensajeros. Está estructurado por capas para simplificar la tarea y permitir descomponerlo en piezas más pequeñas.

Las diferentes formas de cómo están conectados los dispositivos se lo conoce como topología de red que son: punto a punto, estrella, malla y árbol.

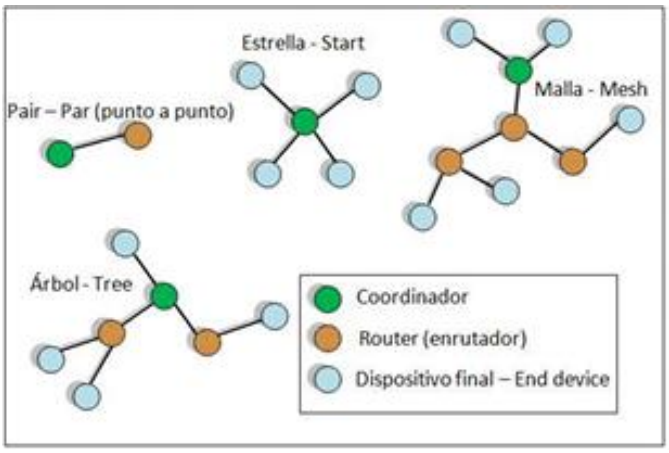


Gráfico 20: Topologías de red ZigBee
Fuente: (Iraceburu González & Goicoechea Fernández, 2014)

- **Punto a punto:** Uno de los dispositivos es el coordinador y el otro puede ser un router o un dispositivo final.
- **Estrella:** Todos los dispositivos de la red se pueden comunicar con el coordinador, pero no entre sí.
- **Malla:** Se trata de una comunicación punto a punto, pero existiendo restricciones en la intercomunicación de dispositivos. Donde, el coordinador se encarga de gestionar los caminos.
- **Árbol:** El coordinador establece la red inicial, los routers forman ramas y retransmiten los mensajes y los dispositivos finales son las hojas del árbol.

1.6.2.2. Xbee

No nos equivoquemos, Zigbee y Xbee no son lo mismo, de hecho, son completamente diferentes. Definimos Zigbee como un protocolo de comunicación inalámbrica y Xbee es una marca de dispositivos inalámbricos que admiten diferentes protocolos de comunicación. Por lo tanto, Xbee son soluciones integradas que proporcionan una forma inalámbrica de conectarse y comunicarse de manera efectiva entre dispositivos con tráfico de datos de baja latencia.

De igual manera, existen varios módulos Xbee con características diferentes, en este caso los más utilizados son los Xbee Series 1 bajo protocolo 802.15.4 y Series 2 bajo protocolo ZigBee. En este caso, este proyecto utiliza el protocolo ZigBee descrito anteriormente. Entonces, el módulo utilizado es Xbee Series 2, que se puede dividir en normal y PRO, donde su alcance y potencia son diferentes.



Gráfico 21: Módulo Xbee Serie 2
Fuente: (Arduino, 2016)

1.7. Sistema Web

En un mundo globalizado donde Internet y la web están al alcance de la sociedad. Esto ha traído nuevas posibilidades a los sistemas informáticos donde Internet lidera el camino en la creación de aplicaciones web.

De acuerdo a Sergio Luján Mora (2002) manifiesta que:

> Las aplicaciones web permiten la generación automática de contenido, la creación de páginas personalizadas según el perfil del usuario o el desarrollo del comercio electrónico. Además, una aplicación web permite interactuar con los sistemas informáticos de gestión de una empresa, como puede ser gestión de clientes, contabilidad o inventario, a través de una página web. (p. III)

Lo que distingue a un sistema web de los sitios web es la arquitectura cliente/servidor, que a menudo se puede distinguir como la interacción del sistema con el usuario, para que pueda sacar el máximo provecho del sistema.

1.7.1. Kit de desarrollo de Software Ionic

La plataforma de desarrollo Ionic "es un SDK de frontend de código abierto para desarrollar aplicaciones híbridas basado en tecnologías web (HTML, CSS y JS). Es decir, un framework que nos permite desarrollar aplicaciones para iOS nativo, Android y la web, desde una única base de código." (Agüero Atmitim, 2021). Fue seleccionada por ser de código abierto y se ajusta a la creación de aplicaciones de escritorio y en la web, que podemos implementarlo en el presente proyecto.

1.7.2. CodeIgniter

CodeIgniter es un Framework PHP bajo una licencia open source diseñado para programadores que necesitan una herramienta simple y elegante para crear aplicaciones web con todas las funciones, estás mejoran la forma de trabajar y a mayor velocidad. Aporta de una manera significativa al proyecto porque también permite crear nuevas funcionalidades que son muy importantes, dejará generar nuestra API RESTFUL que ayudará a guardar los datos a través de Internet.

1.7.3. Firebase

Firebase es una plataforma móvil de Google que permite crear apps de calidad en menor tiempo de desarrollo y optimización, la cual permite adaptarse a cualquier plataforma sea móvil o web. Firebas Realtime es una base de datos NoSQL manejada a través del formato JSON, esta permite realizar una comunicación en tiempo real de manera rápida y sencilla. Es de suma utilidad para el presente proyecto, porque permite realizar el monitoreo y el control de nuestro invernadero de manera rápida y eficaz.

1.7.4. MySQL

La base de datos MySQL es la más utilizada en el desarrollo de aplicaciones web, el cual fue específicamente diseñada y optimizada para esta rama porque es simple de usar y tiene un rendimiento notable.

Las ventajas que podemos resaltar de MySQL son:

- Es gratis bajo la licencia GPL Open Source.
- Escalabilidad, simplicidad y alto desempeño.
- Velocidad de respuesta.
- Multiplataforma.
- Disponible en la mayoría de proveedores hosting.
- Varias herramientas de conexión.
- Soporta bases de datos de gran tamaño.

Es una muy buena opción en cuestión de base de datos para ser aplicada en desarrollo de sistemas web pequeños o de gran escala, por su fácil monitorización y accesibilidad, tiene la estructura cliente/servidor ideal para el presente proyecto.

1.8. Metodología XP

La Metodología XP es un modelo de desarrollo de aplicaciones utilizado para construir, planificar y controlar los procesos del sistema. Esta metodología es ideal para este proyecto ya que está adaptada para el desarrollo a corto plazo en respuesta a las necesidades del cliente, con una comunicación entre desarrollador/cliente.

Según Dayana Bustamante y Jean Rodríguez (2014) en su informe respecto a la metodología XP resaltan varias características interesantes:

- Se diferencia de las metodologías tradicionales principalmente en que pone más énfasis en la adaptabilidad que en la previsibilidad.
- Se aplica de manera dinámica durante el ciclo de vida del software.
- Es capaz de adaptarse a los cambios de requisitos.
- Los individuos e interacciones son más importantes que los procesos y herramientas.
- Al individuo y las interacciones del equipo de desarrollo sobre el proceso y las herramientas.

1.8.1. Roles Metodología XP

Para cumplir con la Metodología XP se deben cumplir ciertos roles en los grupos de trabajo como:

- **Programador:** encargado del código y diseño del sistema, realizando pruebas unitarias para comprobar su funcionamiento.
- **Cliente:** responsable de las historias de usuario, dar prioridades y realizar la cartera de productos.
- **Taster:** realiza las pruebas del producto final.
- **Tracker:** monitorear el progreso de desarrollo y sus problemas dentro de él.
- **Coach:** brinda el soporte a todo el grupo, enseñando las prácticas de implementación del proyecto.
- **Consultor:** da soporte al equipo de manera externa.
- **Jefe de proyectos:** construye al equipo de acuerdo a los recursos necesarios, encargado de la coordinación del proyecto.

1.8.2. Planificación del proyecto

A continuación, se presenta como es la planificación de un proyecto con metodología XP:

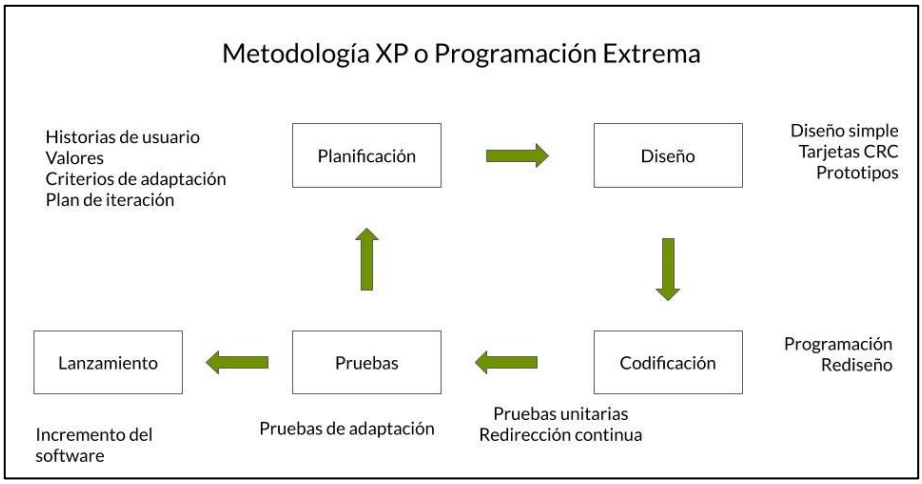


Gráfico 22: Fases de planificación metodología XP.
Fuente: (Sinnaps)

Las etapas de desarrollo para el presente proyecto serán las siguientes:

- **Planificación:** Se tomarán todos los requisitos que propongan los encargados de La Granja de la PUCE-SI mediante entrevistas haciendo uso de historias de usuario.
- **Diseño:** Se realizarán prototipos de código sencillo, con el fin de llegar la estructura exacta de desarrollo, para cumplir con los requisitos estipulados.

- **Implementación:** Una vez realizado el diseño, se procederá a realizarlo con las herramientas adecuadas de desarrollo.
- **Pruebas:** Las pruebas serán de dos tipos: pruebas unitarias para detectar errores en fragmentos de código y pruebas de aceptación con el usuario para verificar si ese requisito ya es apto para su uso.
- **Instalación:** Una vez cumplidos todos los requisitos y validadas las pruebas de aceptación, se pondrá el sistema automatizado en funcionamiento.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se centró en la investigación proyecto factible ya que se busca encontrar solución a las problemáticas que presenta la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales ECAA, el cual tuvo un enfoque cuantitativo con un alcance proyectivo lo cual ayudó a reflejar la situación del control de variables y sistema de riego de la ECAA en la PUCE-SI.

2.2. TÉCNICAS

Con el fin de recopilar información útil como referencia para este proyecto, se utilizó la entrevista y observación directa como técnicas de investigación.

La entrevista se realizó al Ing. Valdemar Andrade encargado de los invernaderos de La Granja de la ECAA, utilizando sus conocimiento y experiencia en el proceso de riego y la gestión de las condiciones climáticas del invernadero para buscar optimizar el proceso utilizando soluciones automatizadas; además, las fichas de observación se utilizaron para recopilar información, que será analizada y utilizada como base para la solución planteada.

2.2.1. Análisis de la entrevista

ENTREVISTA

Fecha realización: 28 de abril 2022.

Lugar: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Duración entrevista: 40 minutos.

Entrevista dirigida a: Ing. Valdemar Andrade, docente de la ECAA.

Tipo de preguntas: Abiertas.

1. **¿Qué medida tiene el invernadero?**

15x22 metros.

2. **¿De qué materiales está estructurado el invernadero?**

   Metal y plástico.

3. **¿Cuántas camas se utilizan en un invernadero?**

   10 camas de 1x20 metros.

4. **¿Qué tipos de plantas se cultivan con más frecuencia en los invernaderos?**

   Tomate, pimiento, pepinillo.

5. **¿Cuál es el tiempo de duración del ciclo de cultivo de las plantas con mayor frecuencia en el invernadero?**

   Tomate 7 meses- 210 días.

   Pimiento 300 a 330 días.

   Pepinillo 120 a 130 días.

6. **¿Cuál es la técnica de riego que se utiliza en los invernaderos?**

   Riego localizado por goteo auto compensado.

7. **¿Cómo se realiza el proceso de riego en los invernaderos de La Granja?**

   Por cultivo, estadía fenológico y programación de riego.

8. **¿De qué manera se calcula la cantidad de agua necesaria para el invernadero y los ciclos en los que se suministra en el día?**

   Temperatura, evapotranspiración, radiación solar, textura de suelo y tipo de cultivo.

9. **¿Qué tipo de suelo son los invernaderos?**

   Franco arcilloso

10. **¿Cuánto es el consumo de agua diario en un invernadero de la Granja?**

    Variables empleadas en la programación del riego.

11. **¿Existe un desperdicio de agua considerable en el proceso de riego actual de los invernaderos?**

    No.

12. **¿Cuáles son los inconvenientes que presenta el sistema de riego actual?**

    Calidad del agua, problema que no se puede controlar automatizado.

13. **¿Qué variables ambientales influyen en cálculo de riego y desarrollo de cultivo?**

    Temperatura, radiación solar, humedad relativa y el mismo cultivo.

14. **¿Cómo influyen dichos factores en el cálculo de riego?**

    En el consumo de agua dependiendo en el estadio fenológico del cultivo.

15. **¿De qué manera son utilizadas las cortinas?**

    Para ventilación del cultivo, eliminación de la humedad relativa, reducción de la temperatura.

16. **¿Qué variable ambiental es la que afecta la ventilación de los invernaderos?**

    Humedad relativa y temperatura.

17. **¿De qué manera se realiza el control de las variables ambientales en los invernaderos?**

    Por mediciones de manera manual.

18. **¿Existe capacitación del personal que está a cargo de los invernaderos?**

    Experiencia en el manejo por años de trabajo.

19. **¿Cree usted que la automatización del invernadero ayudaría a la producción agrícola de La Granja?**

    Ayudaría a la producción de todos los invernaderos.

Análisis. - Se puede concluir con toda la información recabada que es necesario la automatización en el invernadero La Granja de la PUCE-SI, ya que se realiza el control del sistema de riego por medio de un microcontrolador conectado al sistema de tuberías y electroválvulas, en donde se realiza un cálculo de necesidades hídricas aproximado, donde no se toma en consideración valores influyentes en un ciclo de cultivo como son la temperatura y la humedad. Asimismo, no se rastrean las variaciones ambientales continuas para las cortinas que están expuestas a temperaturas y humedad extremas en determinados momentos del día, por lo que los cultivos se ven afectados en el proceso de producción. los empleados de La Granja hacen su trabajo en base a la experiencia o guía de los administradores, por lo que la ECAA está de acuerdo con la automatización de un invernadero, para ser un proyecto evolutivo implementando mejoras o expandiendo a otros invernáculos.

2.2.2. Fichas de observación

Tabla 6: Estructura del invernadero

FICHA DE OBSERVACIÓN		
Fecha:	04 de Mayo de 2022	**N° 1**
Lugar	Invernadero de la ECAA	
Descripción:	Estructura del invernadero	



Observación	Análisis
La Granja de la ECAA tiene invernaderos en forma de capilla de una estructura metálica y cubierta de plástico, en los extremos tiene cortinas controladas de manera manual. Su extensión es de 15 metros de ancho, 22 metros de largo y 4,5 metros de alto en su altura máxima.	Se utilizó el invernadero número 1 de La Granja porque tiene una extensión de 330 m^2 ideal para la aplicación de este proyecto. Será el invernadero piloto para futuras implementaciones adicionales o para expansión en el resto de invernaderos.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 7: Aula PUCE-SI

FICHA DE OBSERVACIÓN		
Fecha:	04 de Mayo de 2022	**N° 2**
Lugar	Invernadero de la ECAA	
Descripción:	Aula PUCE-SI	



Observación	**Análisis**
Esta pequeña aula cuenta con un equipo de cómputo y conexión a internet. Ubicada a 45 metros aproximadamente del invernadero número 1 donde está enfocado nuestro proyecto.	La conexión a internet en esta área permite realizar la instalación adecuada del sistema web y la base de datos que se va a usar, de igual manera, su ubicación permite la comunicación inalámbrica de los equipos electrónicos que han sido mencionados en el presente proyecto.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 8: Planta de riego

FICHA DE OBSERVACIÓN		
Fecha:	04 de Mayo de 2022	**N° 3**
Lugar	Invernadero de la ECAA	
Descripción:	Planta de riego	



Observación	Análisis
La bomba hidráulica encargada de gestionar el riego en los invernaderos se encuentra a una distancia de 10 metros con respecto al invernadero 1, en donde con un microcomputador programan los ciclo de cultivo diarios, para que se encargue de abrir y cerrar las electroválvulas de distribución.	Las programaciones de los ciclos de cultivo en este microcomputador son realizadas a base de cálculos manuales o la experiencia del operador. No se toma en consideración los cambios climáticos que existen dentro del invernadero y no ayudan a determinar la cantidad de agua necesaria para las plantas en tiempo real.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 9: Cortinas del invernadero

FICHA DE OBSERVACIÓN		
Fecha:	04 de Mayo de 2022	**N° 4**
Lugar	Invernadero de la ECAA	
Descripción:	Cortinas del invernadero	



Observación	**Análisis**
En los extremos del invernadero tienen un extenso sistema de cortinas móviles que son operadas de manera manual, donde la persona encargada del invernadero debe subir o bajar las cortinas en base a su experiencia sin realizar un control de variables climáticas.	El sistema de cortinas móviles de invernadero es útil para la protección de las plantas, pero como es manual y requiere mucha mano de obra, es un esfuerzo innecesario, el hecho de que las personas que trabajan en La Granja tomen la decisión de abrir o cerrar las cortinas hace que el proceso sea imperfecto e impreciso, pudiendo afectar

	el clima dentro del invernadero y por ende la producción del cultivo.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3. DOCUMENTO IEEE 830

El siguiente documento permite definir los requisitos de software y hardware que los usuarios quieren incluir en este proyecto, permite al autor estandarizar los requisitos para la planificación, el diseño y el desarrollo.

Tabla 10: Ficha de documento IEEE 830

Fecha	Revisión	Autor	Verificado dep. Calidad
22/07/2021		Edwin Andrés Dávila Montúfar	

Fuente: Andrés Dávila M.

Documento validado por las partes en fecha:

Tabla 11: Validación del documento IEEE 830

Por la comunidad	Por la universidad

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.1. INTRODUCCIÓN

Este documento es una Especificación de Requisitos de Software (ERS) para el "*SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA*". Estas especificaciones se han estructurado en base a las directrices dadas por el estándar IEEE Práctica Recomendada para Especificaciones de Requisitos Software ANSI/IEEE 830, 1998.

2.3.1.1. Propósito

El presente documento tiene como propósito definir las especificaciones funcionales y no funcionales para el desarrollo de Sistema Automatizado de Riego y Manejo de las condiciones climáticas bajo invernadero. En este documento se detallarán los requisitos de software, los responsables del proyecto y los perfiles de usuarios.

2.3.1.2. Alcance

Este proyecto es un sistema de gestión de riego y ambiente automático controlado por comunicación inalámbrica para La Granja de la ECAA en PUCE-SI, consta de dos partes principales, física y lógica, con control automático y manual, controlado por un sistema de web.

2.3.1.3. Personal involucrado

Tabla 12: Analista-programador

Nombre	Edwin Andrés Dávila Montúfar
Rol	Analista y programador.
Categoría Profesional	Egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas.
Responsabilidad	Investigación, planificación, diseño, codificación, pruebas y validación.
Información de contacto	andresdav_7@hotmail.com

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 13: Asesor de la investigación

Nombre	Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre
Rol	Asesor de la investigación.
Categoría Profesional	Magister en Tecnologías para la gestión y práctica docente.
Responsabilidad	Validación de pruebas y requisitos
Información de contacto	smarciniegas@pucesi.edu.ec

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 14: Colaborador de la investigación

Nombre	Valdemar Andrade
Rol	Colaborador de la investigación.
Categoría Profesional	Ingeniero Agroindustrial
Responsabilidad	Validación de requisitos.
Información de contacto	jvandrade1@pucesi.edu.ec

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.1.4. Definiciones, acrónimos y abreviaturas

Tabla 15: Definición y abreviaturas

Nombre	Descripción
Et	Evapotranspiración.
Eto	Evapotranspiración de referencia.
Etc	Evapotranspiración de cultivo bajo condiciones estándar.
Kc	Coeficiente de cultivo.
IoT	Internet of things.
E/S	Entrada y salida.
ERS	Especificaciones de Requisitos Software.
DHT-22	Sensor de humedad y temperatura.
Hs	Humedad del suelo.
Ha	Humedad relativa.
Ta	Temperatura Ambiental.
SAI	Sistema automatizado de invernadero.
PUCE-SI	Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.1.5. Referencias

Tabla 16: Referencias

Título del Documento	Referencia
Standard IEEE 830 - 1998	IEEE

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.1.6. Resumen

Este documento se divide en tres partes. La primera parte la introducción, donde brinda una visión general de las especificaciones de recursos del sistema.

La segunda parte del documento proporciona una descripción general del sistema para comprender las funciones principales que debe realizar, los datos involucrados y los factores, restricciones, suposiciones y dependencias que afectan su desarrollo sin entrar en demasiados detalles.

Finalmente, la tercera parte del documento detalla los requisitos del sistema.

2.3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

SAI será un protocolo diseñado para trabajar en sistema Web, que se divide en la parte de hardware y software. Se encargará de controlar las condiciones ambientales dentro del invernadero por medio de sensores que procesaran su información en el microcontrolador para dar apertura al sistema de riego o a la operación de ejecutar las cortinas dependiendo de las restricciones que se basa el sistema. El sistema web es el encargado de realizar el monitoreo del invernadero, mediante su interfaz.

2.3.2.1. Funcionalidad del producto

Las funcionalidades más importantes son los módulos del sistema de gestión de los procesos.

Operación Software

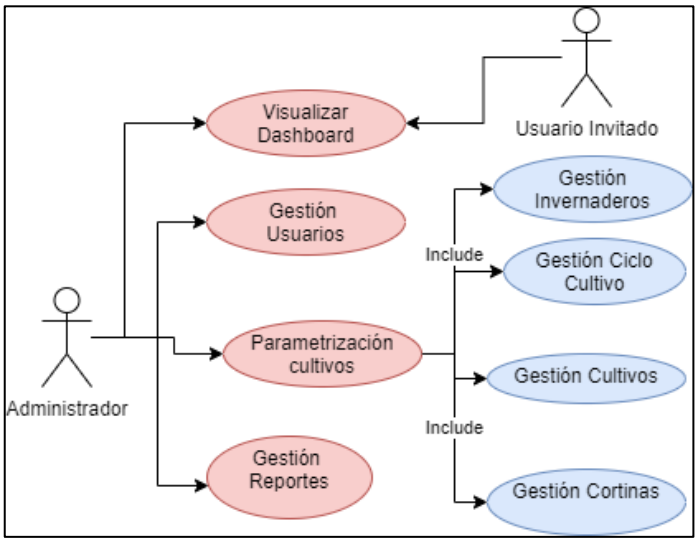


Gráfico 23: Caso de Uso Administrador
Fuente: Andrés Dávila M.

Operación Comunicación

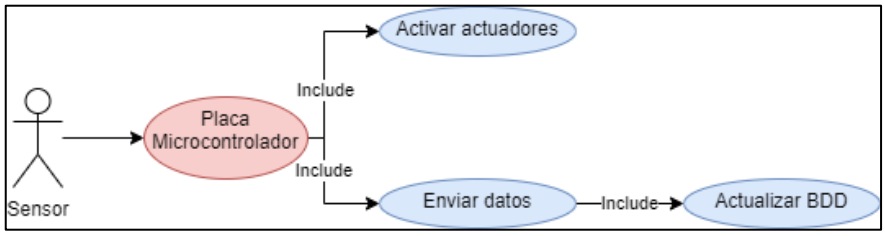


Gráfico 24: Caso de Uso Comunicación
Fuente: Andrés Dávila M.

Operación Hardware

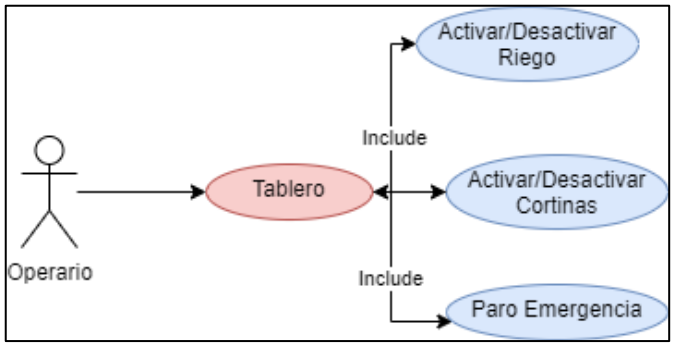


Gráfico 25: Caso de Uso Hardware
Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.2.2. Características de los usuarios

Tabla 17: Usuario- Administrador del Sistema

Tipo Usuario	Administrador Sistema.
Formación	Ingeniero/a en sistemas o carreras similares. Conocimiento en electrónica
Habilidades	Programador y conocimiento en dispositivos microelectrónicos compatibles con Arduino.
Actividades	Administrar el sistema web. Mantenimiento a dispositivos electrónicos.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 18: Usuario-Administrador

Tipo Usuario	Administrador.
Formación	Ingeniero/a agrónomo o carreras similares.
Habilidades	Conocimiento de riegos y manejos de invernaderos.
Actividades	Monitoreo del invernadero. Parametrización del invernadero. Reportes del invernadero.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 19: Usuario-Invitado

Tipo Usuario	Invitado.
Formación	No aplica.
Habilidades	Uso de internet.
Actividades	Visualización de dashboard para ver estado actual del invernadero.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.2.3. Restricciones

Interfaz debe ser utilizada con Internet.

Al utilizar Arduino la parte de la automatización se limita a ser programada en el lenguaje de programación compatible con dicha placa.

Las conexiones eléctricas deben ajustarse a la disponibilidad de La Granja de la ECAA.

2.3.2.4. Suposiciones y dependencias

Se asume que los requisitos aquí descritos son estables.

Los equipos en los que se vaya a ejecutar el sistema deben cumplir los requisitos antes indicados para garantizar una ejecución correcta de la misma.

2.3.3. REQUISITOS FUNCIONALES

Tabla 20: RF01

Identificación del requerimiento	RF01
Nombre del requerimiento	Visualizar Dashboard
Características	Disponible sin iniciar sesión.
Descripción del requerimiento	Se visualiza el estado actual del invernadero, tanto las mediciones de los sensores y el estado de los actuadores.
Requerimiento NO funcional	RNF01 RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 21: RF02

Identificación del requerimiento	RF02
Nombre del requerimiento	Gestión de Usuarios
Características	Los usuarios deberán registrarse en el sistema para acceder a cualquier parte del sistema.
Descripción del requerimiento	El usuario administrador es el encargado de crear los usuarios para dar acceso al sistema.
Requerimiento NO funcional	RNF01 RNF02 RNF03 RNF04

Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 22: RF03

Identificación del requerimiento	RF03
Nombre del requerimiento	Parametrización cultivos
Características	Los usuarios que acceden al sistema podrán realizar varias opciones.
Descripción del requerimiento	Gestionar invernaderos. Gestionar ciclos de cultivo. Gestionar el cultivo. Gestionar cortinas.
Requerimiento NO funcional	RNF01 RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 23: RF04

Identificación del requerimiento	RF04
Nombre del requerimiento	Gestión Reportes
Características	Los usuarios que acceden al sistema podrán generar un reporte de las mediciones de los sensores.
Descripción del requerimiento	Se puede generar reportes de las mediciones de los sensores, el estado del invernadero y de los cultivos.
Requerimiento NO funcional	RNF01 RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 24: RF05

Identificación del requerimiento	RF05
Nombre del requerimiento	Comunicación inalámbrica
Características	La comunicación entre placa principal y placa secundaria.
Descripción del requerimiento	Se utilizara el protocolo ZigBee con módulos Xbee para la comunicación inalámbrica
Requerimiento NO funcional	RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 25: RF06

Identificación del requerimiento	RF06
Nombre del requerimiento	Conexión base de datos
Características	Se necesita una forma de conexión entre la base de datos y la placa principal que controla la automatización del invernadero
Descripción del requerimiento	La placa secundaria recibe los datos de la comunicación inalámbrica para luego ser actualizada.
Requerimiento NO funcional	RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 26: RF07

Identificación del requerimiento	RF07
Nombre del requerimiento	Modo manual

Características	Se permite operar el invernadero por un tablero de control.
Descripción del requerimiento	Activar/Desactivar riego. Activar/Desactivar cortinas. Paro de emergencia.
Requerimiento NO funcional	RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 27: RF08

Identificación del requerimiento	RF08
Nombre del requerimiento	Modo automático
Características	Permite realizar el riego y la acción de las cortinas de manera automática.
Descripción del requerimiento	Por medio de la evapotranspiración que será medida en el sistema se realiza el riego automático y la apertura o cierre de cortinas depende de los límites de medición que serán tomada por los sensores.
Requerimiento NO funcional	RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 28: RF09

Identificación del requerimiento	RF09
Nombre del requerimiento	Apertura y cierre del riego
Características	Se puede realizar la operación de manera manual o automática.

Descripción del requerimiento	Por medio de la electroválvula que se encuentra instalada se puede realizar la automatización.
Requerimiento NO funcional	RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 29: RF10

Identificación del requerimiento	RF10
Nombre del requerimiento	Apertura y cierre de cortinas
Características	Se puede realizar la operación de manera manual o automática.
Descripción del requerimiento	Se implementa un sistema móvil de motores con finales de carrera para saber la distancia máxima para la apertura o el cierre de cortinas.
Requerimiento NO funcional	RNF02 RNF03 RNF04
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.4. REQUISITOS NO FUNCIONALES

Tabla 30: RNF01

Identificación del requerimiento	RNF01
Nombre del requerimiento	Interfaz del sistema
Características	Presentará una interfaz de usuario sencilla para que sea de fácil manejo.
Descripción del requerimiento	El sistema debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla.
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 31: RNF02

Identificación del requerimiento	RNF02
Nombre del requerimiento	Fiabilidad
Características	Realizar pruebas para solucionar errores.
Descripción del requerimiento	El sistema debe cumplir el funcionamiento y mantenimiento para tener un sistema completo tanto de software y hardware.
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 32: RNF03

Identificación del requerimiento	RNF03
Nombre del requerimiento	Mantenimiento
Características	Realizar mantenimiento trimestral de software y hardware.
Descripción del requerimiento	Los componentes electrónicos deben tener un mantenimiento preventivo y el software controlar su correcto funcionamiento.
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 33: RNF04

Identificación del requerimiento	RNF04
Nombre del requerimiento	Desempeño
Características	Rendimiento del sistema web y rendimiento del microcomputador.
Descripción del requerimiento	El tiempo de respuesta debe ser rápido, tanto de parte de las placas de control y el sistema web.
Prioridad del requerimiento	Alta

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.5. REQUISITOS COMUNES DE LAS INTERFACES

2.3.5.1. Interfaces de usuario

La interfaz de usuario consistirá en un conjunto de ventanas con botones, listas y campos de texto, deben ser intuitivas y fáciles de manejar. Esta deberá cumplir con las especificaciones propuestas, y será visualizada desde un navegador.

2.3.5.2. Interfaces de hardware

Será necesario disponer equipos de cómputo en perfecto estado con las siguientes características:

- Adaptador de red.
- Procesador de 1.66GHz o superior.
- Memoria mínima de 256Mb.
- Mouse.
- Teclado.

Además, se debe considerar estos componentes electrónicos para el invernadero y realizar su automatización.

- Arduino MEGA 2560
- Arduino UNO
- Escudo Ethernet Arduino
- Sensor de humedad relativa y temperatura ambiental DHT-11
- Sensor de humedad de suelo capacitivo
- Módulo de relé de 8 canales
- Electroválvula Cepex S390
- Motoreductor de ½ HP de potencia
- Xbee Series 2

2.3.5.3. Interfaces de software

Dentro de las interfaces de software es necesario especificar que se usa una librería Ethernet para poder realizar una comunicación directa con la API REST utilizada.

Sistema operativo: Windows 10 o superior.

Navegador: Mozilla o Google Chrome.

Base de datos: MySQL.

2.3.5.4. Interfaces de comunicación

Protocolo ZigBee bajo el estándar IEEE 802.15.4.

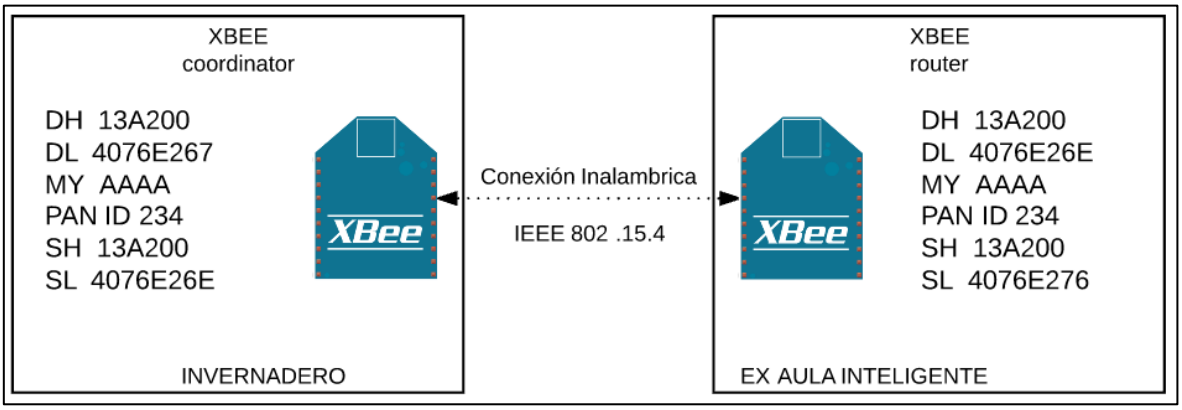


Gráfico 26: Configuración de la red Xbee
Fuente: Andrés Dávila M.

Librería Ethernet para la comunicación entre Arduino y base de datos.

Tabla 34: Configuración de la comunicación Ethernet

CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN ETHERNET	
IP del servidor	172.16.19.147
IP del Escudo Ethernet	172.16.10.121
Socket de la aplicación Web	172.16.19.147:8002
Socket de la API	172.16.19.147:8001

Fuente: Andrés Dávila M.

2.3.6. REQUISITOS COMUNES DE LAS INTERFACES

2.3.6.1. Requisito funcional RF01: Visualizar Dashboard

Cualquier usuario que desee ver el estado actual del invernadero podrá hacerlo sin iniciar sesión y se podrá visualizar de forma informativa el estado de los valores medidos por los sensores,

activaciones de cortinas y el sistema de riego, por lo que estas opciones estarán al alcance de cualquier usuario que tiene acceso a un sistema web que solo muestra los parámetros de este rol, será de utilidad para estudiantes, docentes y personal afiliado a la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI.

2.3.6.2. Requisito funcional RF02: Gestión de usuarios

El usuario administrador será el encargado de realizar el registro de nuevos usuarios que serán encargados de operar el invernadero, ellos automáticamente se convierten en administradores y por eso solo será otorgado al inicio al responsable del invernadero, el cual se encargará de dar esta designación a las personas que considere adecuadas a este rol. De igual manera, podrá actualizar información de usuarios y eliminarlo del sistema.

2.3.6.3. Requisito funcional RF03: Parametrización cultivos

Dentro de este módulo, que solo estará habilitado para el rol administrador, el usuario podrá realizar las siguientes opciones:

- Gestionar invernaderos: crear, modificar y eliminar registros.
- Gestionar ciclos de cultivos: crear, modificar y eliminar ciclos de cultivos por cada invernadero, especificando la duración aproximada y el tipo de planta que se va a cultivar.
- Gestionar datos importantes por cada cultivo: máximos y mínimos de temperatura ambiental, máximos y mínimos de humedad relativa, máximos y mínimos de humedad en el suelo, tabla de Kc, etc.
- Gestionar cortinas: registrar la temperatura y humedad máxima y mínima para su automatización.

2.3.6.4. Requisito funcional RF04: Gestión Reportes

Este módulo estará habilitado únicamente para el rol administrador y tendrá la opción de mostrar reportes de mediciones de sensores.

2.3.6.5. Requisito funcional RF05: Comunicación inalámbrica

Para la comunicación entre la placa esclavo y la placa maestro dentro de los componentes electrónicos, es mejor utilizar la comunicación Xbee con el protocolo ZigBee según IEEE 802.15.4. Dado que solo dos dispositivos se conectarán y comunicarán entre sí, deberá establecer una conexión punto a punto.

2.3.6.6. Requisito funcional RF06: Conexión base de datos

Se necesita una forma de conexión entre la base de datos y la placa principal que controla la automatización del invernadero. El sistema usa una placa secundaria que se conectará por medio de conexión inalámbrica a la placa principal, permitiéndole a esta tomar datos y guardarlos dependiendo de las necesidades del sistema.

2.3.6.7. Requisito funcional RF07: Modo manual

Por medio de un tablero de control el operador puede controlar de manera manual el invernadero, está diseñado para operar el sistema de riego y las cortinas en su apertura o cierre de manera independiente, en algún caso de falla se implementó un paro de emergencia.

2.3.6.8. Requisito funcional RF08: Modo automático

Una vez activado el sistema, toma el cálculo de la evapotranspiración realizado por la base de datos y estima según las mediciones de los sensores los tiempos apropiados para iniciar el riego. Además, las cortinas se abrirán y cerrarán de acuerdo a la medición de los sensores, cuando salga de los límites para regular las condiciones ambientales en su interior.

2.3.6.9. Requisito funcional RF09: Apertura y cierre de riego

Actualmente para el riego del invernadero se tiene una electroválvula que funciona con 12V AC para abrir o cerrar el paso de agua conforme las necesidades de las plantas, entonces es posible conectar la placa principal con esta electroválvula para automatizar realmente el riego dentro del invernadero.

2.3.6.10. Requisito funcional RF10: Apertura y cierre de cortinas

Las cortinas de los lados más largos del invernadero son móviles, por lo que es necesario implementar un pequeño sistema basado en motores que serán accionados por la placa base en modo manual o automático. Además, debe tenerse en cuenta que los finales de carrera deben utilizarse en ambos extremos de la apertura y el cierre para que el motor solo pueda realizar la función de apertura y cierre dentro de una cierta distancia.

2.3.7. REQUISITOS NO FUNCIONALES

2.3.7.1. Interfaz del sistema

El sistema debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla. De igual manera la interfaz de usuario debe ajustarse a las características de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

2.3.7.2. Fiabilidad

Tras realizar las pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de software y hardware, se ha ido solucionando pequeños errores en relación a su funcionamiento. Siempre que se respete las recomendaciones de funcionamiento y mantenimiento, no existirá mayores problemas con respecto a la fiabilidad del sistema.

2.3.7.3. Mantenimiento

Se programa un mantenimiento trimestral, el cual el software será revisado por la persona encargada del sistema arreglando fallos o mantenimiento preventivo. También, en los componentes electrónicos se realizará el mantenimiento preventivo cada tres meses, se recomienda realizar el cambio de aceite cada mes en los motores de las cortinas.

2.3.7.4. Desempeño

Con respecto al rendimiento del sistema web, el sistema tendrá un tiempo de respuesta de peticiones inmediato haciendo transparente el uso de dicho sistema, sobre todo la consulta de información dentro del mismo. Con respecto a la automatización, los procesos se realizarán de forma inmediata tanto en modo manual como en modo automático.

2.4.DOCUMENTO IEEE 1362

Siendo la continuación del formato IEEE 830 en el cual se especifican los requisitos de sistema, este formato, está basado en estándar IEEE para desarrollo de software, que comprende en una explicación técnica del sistema actual en contraparte con el sistema propuesto, viendo sus mejorías y posibles evoluciones.

Tabla 35: Ficha del documento IEEE 1362

Fecha	Revisión	Autor	Verificado dep. Calidad
22/07/2021		Edwin Andrés Dávila Montúfar	

Fuente: Andrés Dávila M.

Documento válido por las partes:

Tabla 36: Validación del documento IEEE 1362

Por el usuario final	Por el desarrollador
Fdo. Ing. Valdemar Andrade	Fdo. Andrés Dávila M.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.1. ALCANCE

Este documento servirá para indicar los requisitos que va a necesitar este sistema, la situación actual y la propuesta de mejoramiento, todo en relación con el documento de Requisitos de Software el IEE-830. Esto servirá como base para que los desarrolladores comprendan los procesos actuales y sus mejoras, y para informar a los clientes sobre la solución propuesta para su sistema.

2.4.1.1. Identificación

Este proyecto es un sistema automatizado de riego y manejo de condiciones ambientales, controlado mediante comunicación inalámbrica para La Granja de la ECAA en la PUCE-SI,

usando hardware compatible con Arduino, que es hardware libre y siguiendo los lineamientos de la PUCE-SI.

2.4.1.2. Visión general del documento

El documento de requisitos de sistema tiene como propósito analizar y comunicar las necesidades, expectativas y posibles soluciones que se le puedan dar al sistema actual. Es una forma de comunicar a todo el equipo de trabajo el entendimiento del proyecto, así como darles una idea clara de lo que se va a realizar en forma general y específica a cada desarrollador, y, también servirá como documento de respaldo para los acuerdos entre el usuario final y el desarrollador.

2.4.1.3. Visión general del sistema

El sistema que se plantea la automatización del riego de un invernadero, el manejo y control de las condiciones ambientales dentro del mismo por medio de un sistema web.

En base a las necesidades planteadas, se propone realizar el sistema acoplando la parte de software con la parte de hardware de tal manera que sea completamente trasparente para el usuario final, además permitiendo al programador, desarrollar el sistema de forma modular.

2.4.1.4. Personal involucrado

Tabla 37: Analista- programador

Nombre	Edwin Andrés Dávila Montúfar
Rol	Analista y programador.
Categoría Profesional	Egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas.
Responsabilidad	Investigación, planificación, diseño, codificación, pruebas y validación.
Información de contacto	andresdav_7@hotmail.com
Aprobación	PUCE-SI

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 38: Asesor de la investigación

Nombre	Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre

Rol	Asesor de la investigación.
Categoría Profesional	Magister en Tecnologías para la gestión y práctica docente.
Responsabilidad	Validación de pruebas y requisitos
Información de contacto	smarciniegas@pucesi.edu.ec
Aprobación	PUCE-SI

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 39: Colaborador de la investigación

Nombre	Valdemar Andrade
Rol	Colaborador de la investigación.
Categoría Profesional	Ingeniero Agroindustrial
Responsabilidad	Validación de requisitos.
Información de contacto	jvandrade1@pucesi.edu.ec
Aprobación	PUCE-SI

Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS

Tabla 40: Referencia del documento

N°	Título	Ruta	Versión	Fecha	Autor
1	IEEE 830 – Requisitos de software	N/A	1.0	02/06/2022	Edwin Andrés Dávila M.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.3. SITUACIÓN ACTUAL

Los invernaderos de La Granja de la ECAA en la PUCE-SI el riego se utiliza un programador de riegos en un microcomputador, donde se registra los tiempos de activación de la electroválvula para permitir el paso del agua a los invernaderos. De esta manera, no se puede realizar un control adecuado y la cantidad de agua suficiente utilizada en cada invernadero, es así como se puede ver perjudicada la producción del cultivo, porque todo está en base a la experiencia de los operarios. Por lo tanto, es necesario automatizar un invernadero para mejorar la calidad y producción de los productos.

2.4.3.1. Antecedentes sistema actual

Los invernaderos de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI están equipados con un sistema de riego que utiliza una microcomputadora que se encarga de programar el riego por tiempos. Sin embargo, las plantas necesitan una cierta cantidad de agua cada día para crecer lo mejor posible, por lo que se debe calcular la evapotranspiración para saber la cantidad exacta de esta agua, pero esta cantidad actualmente solo se estima a partir de la experiencia del administrador. Por otro lado, el sistema de cortinas correderas manuales funciona, por lo que no se garantiza que se mantenga un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas.

2.4.3.2. Políticas y restricciones operacionales

Por ser un proceso manual, se considera no seguir regando el suelo para no saturarlo, lo que se hace es parar el riego.

2.4.3.3. Descripción del sistema o situación actual

El control de los invernaderos de La Granja en la PUCE-SI hecho a mano. En cuanto al procedimiento de riego, el responsable del invernadero es el encargado de analizar los ciclos de riego correspondientes a cada invernadero, en base a la experiencia, utilizando un programador de riego, determina el tiempo y hora de riego cada día para abrir la electroválvula, pero no toman en cuenta la necesidad de agua diaria del cultivo según factores climáticos.

Además, existe un proceso de gestión ambiental totalmente manual, mediante un sistema de cortinas manuales que se abren a muy altas temperaturas y se cierran a muy bajas temperaturas, pero sin medición de temperatura y humedad en todo el día, basándose únicamente en la experiencia del personal responsable de los cultivos en el invernadero.

A continuación, se representa por un flujograma el estado actual del invernadero para el control del mismo:

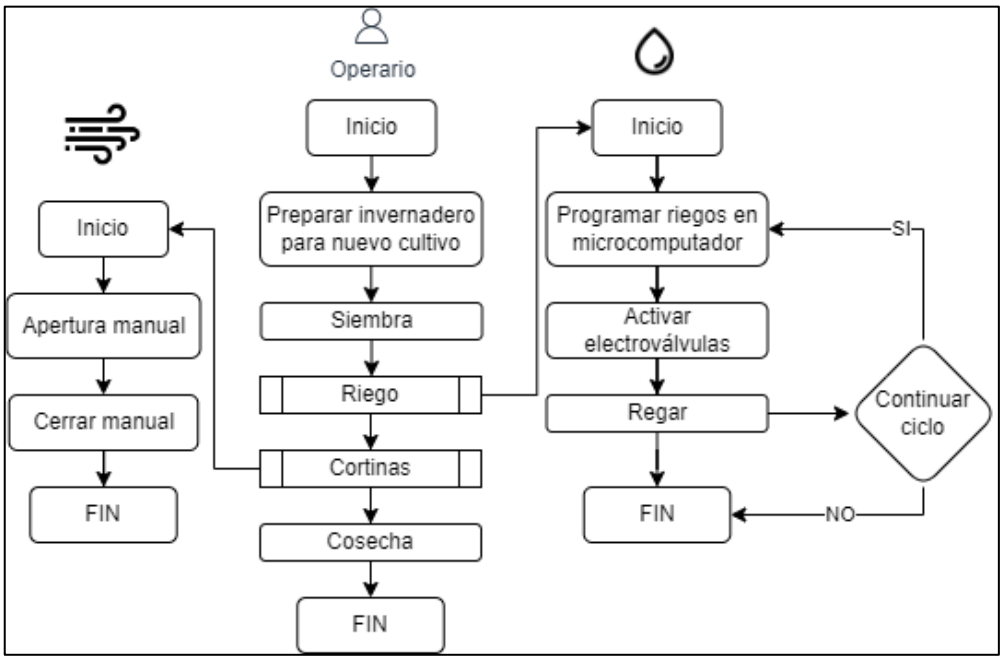


Gráfico 27: Proceso actual del invernadero
Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.3.4. Tipos de usuarios

Tabla 41: Usuario operario

Tipo Usuario	Usuario final.
Formación	No aplica.
Habilidades	Conocimiento en riego y control ambiental
Actividades	Programar riegos de microcomputadora y apertura o cierre de cortinas.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.3.5. Mantenimiento/Soporte

Al tratarse de un sistema manual, el único mantenimiento dentro del sistema actual de riego es el que se les da a las tuberías del riego en general y al invernadero con mantenimiento de plásticos y estructura.

2.4.3.6. Necesidad y naturaleza de los cambios

Luego de analizar los antecedentes y estado actual de los procesos considerados, se concluye acerca de la necesidad de automatizar estos procesos en base a las siguientes necesidades:

- Toma tiempo y recursos humanos realizar los procesos de forma manual.
- Los cultivos necesitan una cantidad específica de agua para mejorar su desarrollo.
- Los factores climáticos bajo invernadero influyen en el correcto desarrollo de los cultivos.

2.4.3.7. Descripción de los cambios deseados

Según los requerimientos solicitados por el encargado de los invernaderos de La Granja los cambios a implementarse a la situación actual son:

- Automatización del riego en el invernadero, tomando como referencia el cálculo de la evapotranspiración, basándose en las mediciones de sensores.
- Manejo y control de las condiciones climáticas bajo invernadero, automatizando el proceso de apertura y cierre de las cortinas del mismo.
- Monitoreo de los procesos anteriores por medio de un sistema web.
- Opción de funcionamiento manual y automático del sistema automatizado, tanto de riego como de manejo de las condiciones ambientales.

2.4.4. SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto consta de una automatización del invernadero de la ECAA en la PUCE-SI que pueda controlar el sistema de riego y las variables ambientales. La finalidad de este sistema, es mejor el manejo de riego, optimizando el uso de recursos naturales como el agua y a su vez que las plantas tengan la cantidad de agua ideal para su desarrollo. Además, se integra el control de variables ambientales para que el invernadero se encuentre en las mejores condiciones para su ciclo de cultivo. A esto, se implementó un sistema web en el cual se podrá ver el estado actual del invernadero para realizar un monitoreo constante del mismo.

2.4.4.1. Antecedentes

En la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, constantemente se busca mejorar los procesos de cultivo en La Granja, por lo cual se ha buscado implementar una solución tecnológica al proceso de riego y la gestión ambiental.

2.4.4.2. Políticas y restricciones operacionales

El proyecto presenta restricciones tecnológicas, tanto para hardware y software, son las siguientes:

- Software de microcontroladores deben ser programados con Arduino y poder conectarse a con la API REST a través de Ethernet.
- Arquitectura cliente/servidor.
- Hardware debe ser compatible con Arduino.

2.4.4.3. Descripción del sistema propuesto

El presente proyecto para la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI es un sistema de riego automático basado en el cálculo de la evapotranspiración para determinar la cantidad exacta de cultivos que se necesitan diariamente y gestionar las condiciones ambientales en el invernadero con sensores que brindarán información para controlar de forma automática estas condiciones ambientales para cumplir con la necesidad de abrir o cerrar las cortinas.

A continuación, se presenta un diagrama del sistema en modo manual:

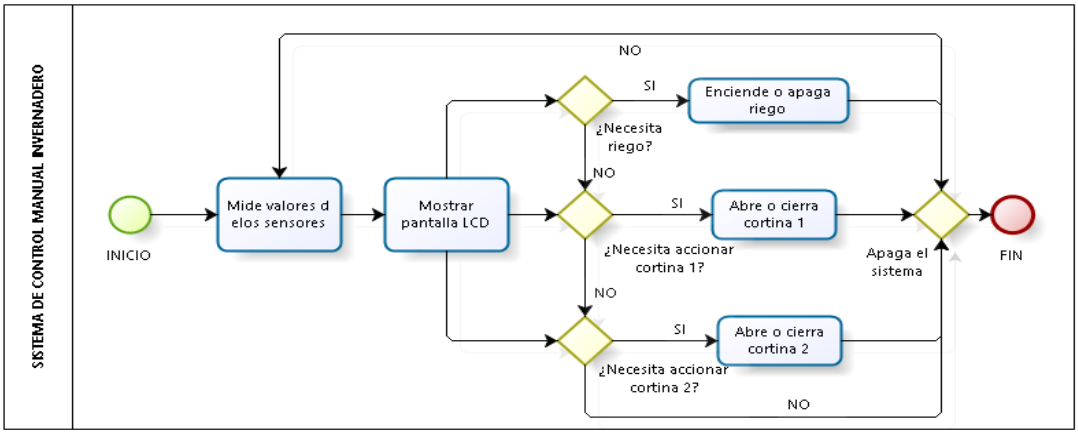


Gráfico 28: Diagrama-Sistema Manual Invernadero
Fuente: Andrés Dávila M.

El siguiente diagrama, representa el funcionamiento del sistema en modo automático:

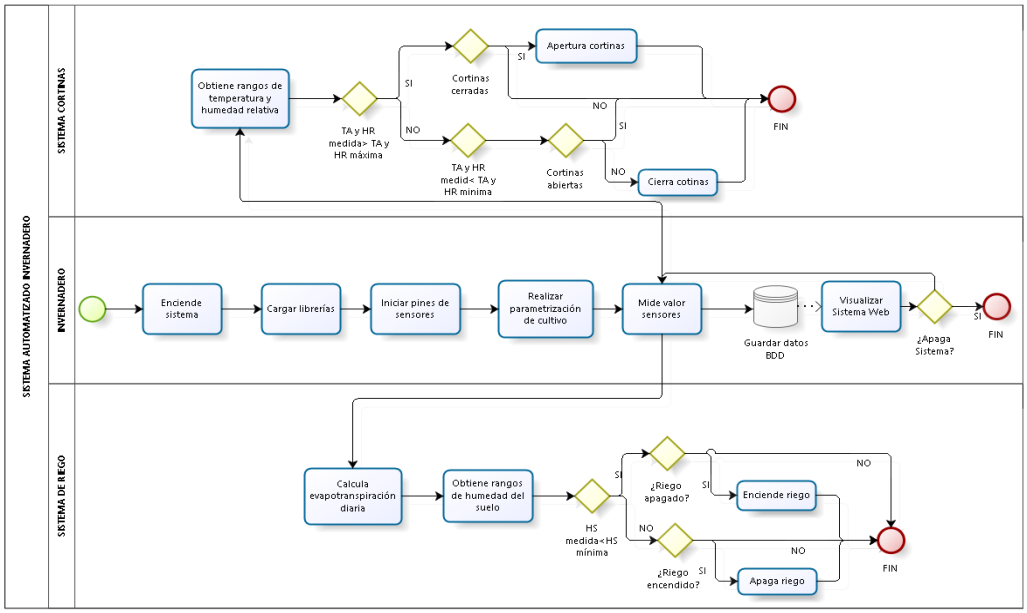


Gráfico 29: Diagrama-Sistema Automático Invernadero
Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.4.4. Tipos de usuarios

Se detallan las características que los usuarios del sistema deben tener dependiendo de su rol en el sistema:

Tabla 42: Usuario administrador del sistema-Sistema propuesto

Tipo Usuario	Administrador Sistema.
Formación	Ingeniero/a en sistemas o carreras similares. Conocimiento en electrónica
Habilidades	Programador y conocimiento en dispositivos microelectrónicos compatibles con Arduino.
Actividades	Administrar el sistema web. Mantenimiento a dispositivos electrónicos.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 43: Usuario administrador-Sistema propuesto

Tipo Usuario	Administrador.
Formación	Ingeniero/a agrónomo o carreras similares.
Habilidades	Conocimiento de riegos y manejos de invernaderos.
Actividades	Monitoreo del invernadero. Parametrización del invernadero. Reportes del invernadero.

Fuente: Andrés Dávila M.

Tabla 44: Usuario invitado-Sistema propuesto

Tipo Usuario	Invitado.
Formación	No aplica.
Habilidades	Uso de internet.
Actividades	Visualización de dashboard para ver estado actual del invernadero.

Fuente: Andrés Dávila M.

2.4.4.5. Mantenimiento/Soporte

En lo que se refiere al mantenimiento, el mantenimiento del software se debe realizar al inicio de cada ciclo agrícola y de hardware por lo menos una vez al mes. En cuanto al soporte, el desarrollador brindará 3 meses de mantenimiento si es necesario, luego de lo cual administrará la ECAA y la Escuela de Ingeniería PUCE-SI.

2.4.4.6. Futuras evoluciones

El sistema propuesto puede ser escalable tanto para hardware como para software. En el caso del hardware, Arduino propone instalar nuevos componentes en las placas que se han utilizado, podremos expandir a otros invernaderos para realizar el control del mismo, pero debemos tomar en cuenta que se debe implementar un panel de monitorización para cada uno. Para el software,

el sistema puede ir a la par con la evolución del hardware, además la base de datos relacional permite agregar más parámetros climáticos dependiendo de la necesidad del usuario.

En base a las necesidades de la ECAA, se plantea en un futuro realizar un control similar, pero de variables de nutrientes para la bomba de fertilizante. Esta propuesta se basa en medir por medio de sensores de nutrientes la cantidad que disponen estos, en caso de que la cantidad de un nutriente en específico es escasa al rango permitido, este activaría la bomba para poder distribuir el nutriente en el campo de cultivo.

En resumen, el sistema puede evolucionar de cierta manera si se siguen las recomendaciones e instrucciones de instalación.

2.4.4.7. Cambios considerados, pero no incluidos

El uso de ventiladores es un cambio que se toma en cuenta, este permitiría realizar en control de la humedad relativa dentro de un invernadero. Se incluye dicho cambio a nivel de software y hardware, dejando el sistema con más probabilidad de que realice dicho cambio con la implementación de ventiladores.

2.4.4.8. Resumen de mejoras

A continuación, se resume las mejoras del sistema nuevo con respecto al sistema actual:

- Se implementan sensores de humedad relativa, humedad de suelo y temperatura ambiental.
- Se implementa un sistema mecánico de cortinas con motores que se activan por medio un sistema automatizado.
- Se implementa un sistema de riego automatizado que toma en cuenta tres variables climáticas y realiza un cálculo de evapotranspiración para determinar la cantidad de agua que necesita el cultivo.

2.4.4.9. Información adicional

No aplica.

2.5. VALIDACIONES

Al desarrollar un sistema de automatización, tanto en software como en hardware, se establece la validación de los requisitos a medida que se desarrollan, para lo cual se elabora la bitácora de pruebas.

2.5.1. Bitácora de pruebas

Para verificar el desarrollo del Sistema Automatizado del Invernadero de la ECAA, tanto a nivel de software como de hardware, se elaboró una tabla indicando los requisitos funcionales a probar como respaldo frente al sistema de automatización.

Tabla 45: Bitácora de pruebas

SISTEMA AUTOMATIZADO DE INVERNADERO DE LA ECAA					
BITÁCORA DE PRUEBAS					
Autor: Andrés Dávila M.			**Fecha inicio:** 11/04/2022		
N°	**Requisito**	**Tarea**	**Fecha**	**Resultado**	**Revisado por**
1	RF02	Gestión de usuarios	12/04/2022	Satisfactorio	Valdemar Andrade
		Gestión de seguridad			
2	RF05	Conexión Xbee	21/04/2022	Satisfactorio	Andrés Dávila
		Envío y recepción de datos			
3	RF07	Tablero de control	11/06/2022	Satisfactorio	Valdemar Andrade
4	RF06	Conexión BDD	15/06/2022	Satisfactorio	Andrés Dávila
		CRUD BDD			

5	RF03	G. invernadero	29/07/2022	Satisfactorio	Valdemar Andrade
		G. ciclo cultivo			
		G. cultivo	29/07/2022	Satisfactorio	Valdemar Andrade
		G. cortinas			
6	RF08	Integración Software y Hardware	29/10/2022	Satisfactorio	Andrés Dávila
7	RF04	Reportes	12/11/2022	Satisfactorio	Valdemar Andrade
8	RF01	Visualización dashboard	19/11/2022	Satisfactorio	Valdemar Andrade

Fuente: Andrés Dávila M.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez finalizado y detallado todo el proceso para desarrollar el "SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA", se obtiene como producto final un software que cumplen con los requerimientos tanto funcionales como no funcionales, solicitados previamente por la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

A continuación, se detallan las interfaces y funcionalidades que presenta el sistema, los cuales se ajustaron a los requerimientos solicitados por el encargado de los invernaderos de La Granja de la ECAA.

3.1. INTERFACES DEL SISTEMA WEB



Gráfico 30: Diagrama-Sistema Automático Invernadero
Fuente: Andrés Dávila M.



Gráfico 31: Interfaz gestión de invernaderos
Fuente: Andrés Dávila M.



Gráfico 32: Interfaz gestión de cultivos
Fuente: Andrés Dávila M.



Gráfico 33: Interfaz gestión de cultivos
Fuente: Andrés Dávila M.

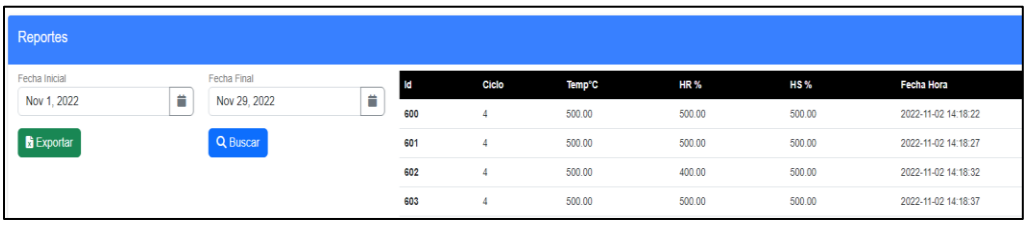


Gráfico 34: Interfaz reportes
Fuente: Andrés Dávila M.

3.2. DIAGRAMA BASE DE DATOS

El siguiente diagrama muestra la base de datos usada en el sistema de monitoreo de la automatización del invernadero.

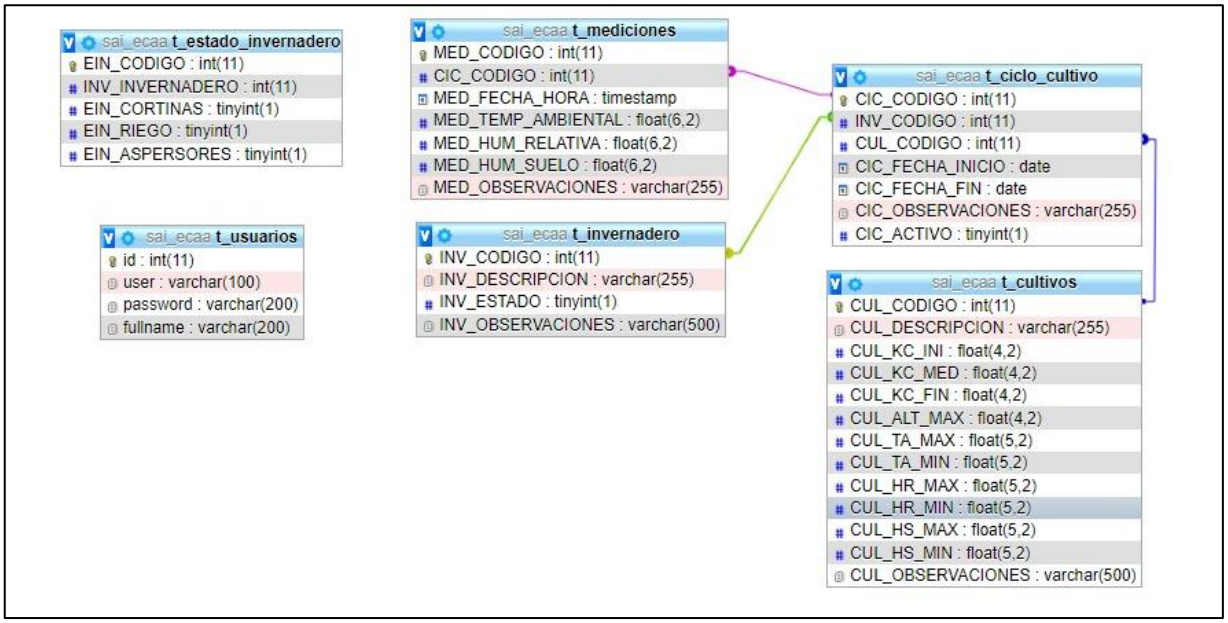


Gráfico 35: Diagrama de base de datos
Fuente: Andrés Dávila M.

CONCLUSIONES

Al concluir con el desarrollo del sistema web, se logra obtener las siguientes conclusiones, las cuales determinan que se cumplió con los objetivos planteados.

- La información obtenida dentro del campo de investigación y la recolección de información bibliográfica ayudo a escoger las herramientas tecnológicas de software y hardware adecuadas para la implementación del presente proyecto.
- El sistema automatizado cumple con todas las características de los requisitos establecidos por los encargados de La Granja de la ECAA, por lo que sirve como una eficaz herramienta de apoyo para controlar tareas cotidianas dentro del invernadero.
- El proceso de desarrollo se acoplo a los cambios propuestos durante las pruebas basadas en la metodología XP para entregar un sistema eficiente en el tiempo indicado.

- La contribución de las dos escuelas de la PUCE-SI permitió establecer los requisitos necesarios para buscar una solución óptima al problema planteado.
- La utilización de la evapotranspiración permitió al sistema de riego ajustarse a diferentes cultivos, ya que se adapta a los parámetros que influyen en el cálculo de la cantidad de riego para un desarrollo óptimo de las plantas.
- La implementación de IoT en el presente proyecto, da un punto de partida en la implementación de nuevas tecnologías en la ECAA para poder optimizar y aumentar la productividad en la agricultura.

RECOMENDACIONES

Al concluir con el desarrollo del sistema web, se detalla las siguientes recomendaciones que ayudarán para la correcta implementación y uso de este sistema.

- Relacionar el invernadero automatizado con el resto de invernaderos, para determinar la eficiencia de la automatización y en un futuro replicarlos en el resto para un mejor beneficio para La Granja de la ECAA.
- Dar el mantenimiento preventivo a los componentes electrónicos y mecánicos, para evitar un daño del sistema.
- Mantener la infraestructura del invernadero adecuada para la implementación del sistema automatizado, cumpliendo con la protección de los componentes electrónicos implementados.
- Se recomienda usar el sistema web en una computadora de escritorio o laptop con buena conexión a internet para que se ejecute de forma rápida las solicitudes del usuario.
- Adaptar el módulo ESP32 en proyectos enfocados a IoT, porque destaca su tecnología WiFi y Bluetooth integradas, de forma que se permita visualizar remotamente los datos de los sensores y tener el control de los dispositivos con un coste menor.
- Integrar nuevas tecnologías que permitan automatizar más procesos de La Granja de la ECAA, para evitar un control experimental de parte de los operarios y adaptarlos a una cultura tecnológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Iraceburu González, J., & Goicoechea Fernández, J. (2014). *Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad.* Pamplona. Obtenido de http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/11846/TFG_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1

Adlercreutz, E., Huarte R., D., López Camelo, A., Manzo, E., Szczesny, A., & Viglianchino, L. (2014). *PRODUCCION HORTICOLA BAJO CUBIERTA* (Primera ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: INTA.

Agüero Atmitim, J. (22 de Febrero de 2021). *Profile*. Obtenido de https://profile.es/blog/que-es-ionic/#:~:text=Ionic%20favorece%20una%20mayor%20productividad,y%20escalado%20sea%20m%C3%A1s%20sencillo.

Aprendiendo Arduino. (s.f.). Obtenido de https://i0.wp.com/cdn.mikroe.com/ebooks/sites/37/2016/02/16204251/al-mundo-de-los-microcontroladores-chapter-03-fig3-7.gif

Arduino. (2016). *Arduino.* Obtenido de https://www.arduino.cc/

Brathwaite, J. (09 de Septiembre de 2015). *Panama Hitek*. Obtenido de http://panamahitek.com/conectar-arduino-base-datos-mysql/#:~:text=Configuraci%C3%B3n%20del%20servidor%20de%20MySQL,diferentes%20modos%3A%20local%20o%20remoto.

Bustamante , D., & Rodriguez , J. (2014). *METODOOGÍA ACTUAL - METODOLOGÍA XP*. Universidad Nacional Experimental de los LLanos Occidentales Ezequiel Zamora, Barinas. Obtenido de https://luismejias21.files.wordpress.com/2018/03/metodologia-xp.pdf

Castellano, Á. (2012). *Bluetooth. Introducción a su Funcionamiento.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería- ICAI. Universidad Pontificia Comillas.

Cisneros Almazán, R. (2003). *APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE.* UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ, San Luis Potosí.

Culturas. (17 de Octubre de 2018). *Hablemos de Culturas*. Obtenido de https://hablemosdeculturas.com/riego-por-gravedad/

Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: : métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones* (Primera ed.). San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca: INTA.

Domínguez, H., & Sáez Vacas, F. (2006). *Domótica: Un enfoque sociotécnico* (Primera ed.). Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones Ciudad Universitaria.

Durán Acevedo, C. M., & Castro Miranda, R. A. (Agosto de 2012). *Universidad Autónoma de Occidente.* Obtenido de http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/39%202012-2/Comunicacion_inalambrica.pdf

FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo.* Obtenido de https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Fernandéz Gómez , R., Oyonarte Gutiérrez, N., García Bernal, J., Yruela Morillo, M., Milla Milla, M., Ávila Alabarces, R., & Gavilán Zafra, P. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión.* Sevilla. Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf

Fernández Gómez, R., Milla Milla, M., Ávila Alabarces, R., Berengena Herrera, J., Gavilán Zafra, P., & Oyonarte Gutiérrez , N. (2010). *Manual de riego para Agricultores: módulo 2. Riego por superficie.* Sevilla. Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf

Fernández Gómez, R., Yruela Morillo, M., Milla Milla, M., García Bernal, J., Oyonarte Gutiérrez, N., Ávila Alabarces, R., & Gavilán Zafra, P. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios.* Sevilla.

Fernández, Y. (3 de Agosto de 2020). *Xataka*. Obtenido de https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno

fitosofia. (13 de Julio de 2015). Obtenido de https://3.bp.blogspot.com/-3Mh0ZXZ3ySs/VaP5gbm0cKI/AAAAAAAAUkQ/yPgr5ZnHk-4/s1600/29.JPG

Graciela, J. (2020). *issu*. Obtenido de

TQ0NDQxNDY0MTE0NDQxMTQ0NDQ0NDQ0NDQxNDE0NDQ0NDQ0P//AABEIALMBGgMBIgACEQEDEQH/

Hernández Abreu, J. (2008). *EVAPOTRANSPIRACIÓN PENMAN-MONTEITH.* Tenerife.

i2t Smart. (s.f.). Obtenido de https://i2t.com.mx/wp-content/uploads/2018/10/i2t-iot-internet-02.png

Iglesias, N. (2006). *Producción de hortalizas bajo cubierta* (Tercera ed.). (C. Bellés, Ed.) Argentina.

Luján Mora, S. (2002). *Programación de aplicaciones web: Historia, principios básicos y clientes web.* Alicante: Clun Universitario.

Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *INGENIARE*.

Martínez, A. (Junio de 2004). Necesidades hídricas en cultivos hortícolas. Obtenido de http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034_041.pdf

Molera Marimón, J., & Llitjós Viza, A. (1995). *ESTUDIO DE CUATRO ADAPTACIONES ESCOLARES DE MÉTODOS DE OBSERVACIÓN Y DETERMINACIÓN D ELA TEXTURA DEL SUELO.* Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.

N. , J. (26 de Octubre de 2017). *Foro del HackLab América*. Obtenido de https://foro.hacklabalmeria.net/t/comparativa-sensores-humedad-del-suelo/9053

Omniblug. (s.f.). *Omniblug*. Obtenido de https://www.omniblug.com/sensor-temperatura-humedad-DHT11-DHT22.html#:~:text=Los%20DHT11%20y%20DHT22%20se,de%20resultar%20algo%20m%C3%A1s%20caro.

Ossa Duque, S. (14 de Junio de 2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Vector, 12*.

Peña, D. (2008). *Microcontroladores.* ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY Honolulu, Honolulu.

Rodriguez Ramirez, F., García Ortega, I., Vásquez Gamboa, S. A., & Juarez Mendoza, L. (3 de Julio de 2017). Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán. *Revista de Desarrollo Tecnológico*.

Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). *LA INTERNET DE LAS COSAS— UNA BREVE RESEÑA.*

Santos, L., De Juan, J., Picornell, M., & José, T. (Marzo de 2010). *Centro Regional del Estudio del Agua.* Obtenido de http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf

Sinnaps. (s.f.). *Sinnaps*. Obtenido de https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/metodologia-xp

Tognoni, F., & Alpi, A. (1999). *Cultivo en invernadero.* Madrid: Mundi-Prensa.

Vega, A. M. (2017). *Manejo y mantenimiento de invernaderos.* Madrid: Mundi-Prensa.

WWF/Adena. (Marzo de 2005). *ToAZ.* Obtenido de https://toaz.info/doc-view

Zapata Sierra, A. J. (2020). *Manual práctico de sistema de riego localizado.* Madrid: Mundi-Prensa.

ANEXOS

Anexo I: Certificación antiplagio

Informe de Originalidad Turnitin

PT por Andrés Davila

Desde Revisión (Proyecto de titulación)

Procesado el 12-dic.-2022 13:08 -05
Identificador: 1979317027
Número de palabras: 19270

Índice de similitud	Similitud según fuente	
3%	Internet Sources:	4%
	Publicaciones:	0%
	Trabajos del estudiante:	2%

fuentes:

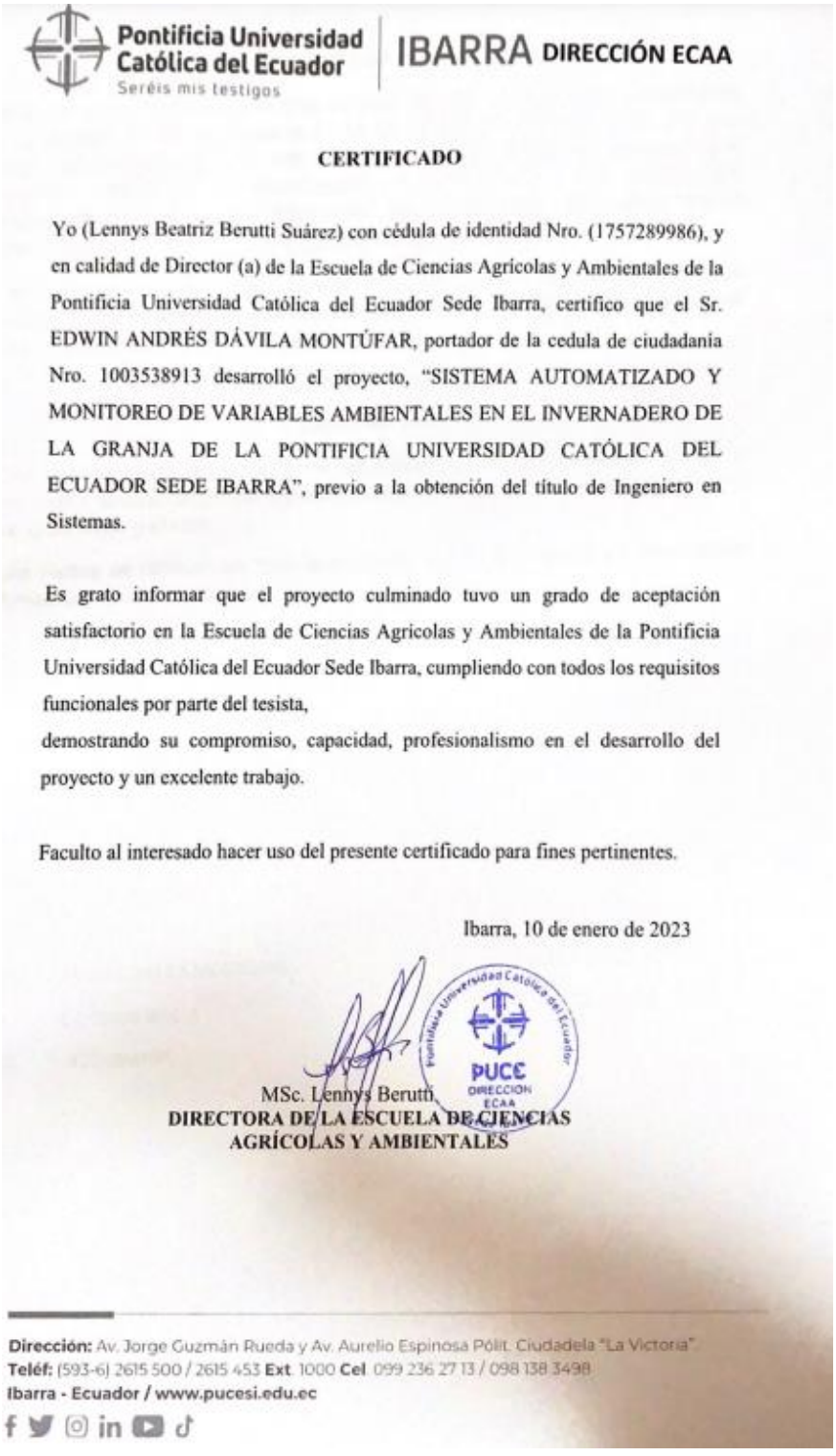
1 2% match (Internet desde 09-jul.-2016)
https://www.scribd.com/doc/305630734/Evapotranspiracion-Del-Cultivo

2 2% match ()
Angamarca Angamarca, Verónica Del Roció. "Implementación de un sistema de gestión para los procesos de capacitación y educación cristiana de la parroquia santuario “Nuestra Señora del Cisne” de la provincia de Imbabura", 2018

texto del trabajo:

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra ESCUELA DE INGENIERÍA INFORME FINAL DEL PROYECTO TEMA: “SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL

Anexo II: Certificado de satisfacción del cliente



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Seréis mis testigos

IBARRA DIRECCIÓN ECAA

CERTIFICADO

Yo (Lennys Beatriz Berutti Suárez) con cédula de identidad Nro. (1757289986), y en calidad de Director (a) de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, certifico que el Sr. EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR, portador de la cedula de ciudadanía Nro. 1003538913 desarrolló el proyecto, "SISTEMA AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA", previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas.

Es grato informar que el proyecto culminado tuvo un grado de aceptación satisfactorio en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, cumpliendo con todos los requisitos funcionales por parte del tesista,
demostrando su compromiso, capacidad, profesionalismo en el desarrollo del proyecto y un excelente trabajo.

Faculto al interesado hacer uso del presente certificado para fines pertinentes.

Ibarra, 10 de enero de 2023

MSc. Lennys Berutti
DIRECTORA DE LA ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

PUCE DIRECCIÓN ECAA

Dirección: Av. Jorge Guzmán Rueda y Av. Aurelio Espinosa Pólit. Ciudadela "La Victoria".
Teléf: (593-6) 2615 500 / 2615 453 **Ext**. 1000 **Cel**. 099 236 27 13 / 098 138 3498
Ibarra - Ecuador / www.pucesi.edu.ec

Anexo III: Acta Entrega-Recepción

ACTA DE ENTREGA – RECEPCIÓN

En la ciudad de Ibarra a los 11 días del mes de enero del año 2023, comparecen a la celebración de la presente ACTA DE ENTREGA-RECEPCION, por una parte, del estudiante EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR en cumplimiento al proyecto "SISTEMA *AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL INVERNADERO DE LA GRANJA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA*".

Los comparecientes en unidad de acto, proceden a verificar totalmente la entrega y condiciones de los sensores utilizados en el proyecto presente, luego de lo cual se procede a dejar constancia de lo siguiente:

3 sensores Capacitivos

3 sensores DHT11

Una vez efectuada la recepción de los artículos y cantidades mencionados, se procede a la suscripción de la presente acta entrega definitiva en dos originales de igual tenor y efecto.

Las partes se ratifican en todo lo expuesto y para constancia y plena validez firman la presente acta.

EDWIN ANDRÉS DÁVILA MONTÚFAR

C.I. 100353891-3

ESTUDIANTE

ING. EDMUNDO RECALDE

C.I. 1001774494.

Anexo IV: Imágenes de socialización





Anexo V: Formato de entrevista



Entrevista sobre el proceso de cultivo en invernaderos de la PUCE-SI

1. *¿Qué medida tiene el invernadero?*
2. *¿De qué materiales está estructurado el invernadero?*
3. *¿Cuántos surcos se usan en los invernaderos?*
4. *¿Qué tipos de plantas que se cultivan con más frecuencia en los invernaderos?*
5. *¿Cuál es el tiempo de duración del ciclo de cultivo en el invernadero?*
6. *¿Cuál es la técnica de riego que se utiliza en los invernaderos?*
7. *¿Cómo se realiza el proceso de riego en los invernaderos de La Granja?*
8. *¿De qué manera se calcula la cantidad de agua necesaria para el invernadero y los ciclos en los que se suministra en el día?*
9. *¿Qué tipo de suelo son los invernaderos?*
10. *¿Cuánto es el consumo de agua diario en un invernadero de la Granja?*
11. *¿Existe un desperdicio de agua considerable en el proceso de riego actual de los invernaderos?*
12. *¿Cuáles son los inconvenientes que presenta el sistema de riego actual?*
13. *¿Qué variables ambientales influyen en cálculo de riego y desarrollo de cultivo?*
14. *¿Cómo influyen dichos factores en el cálculo de riego?*
15. *¿De qué manera son utilizadas las cortinas?*
16. *¿Qué variable ambiental es la que afecta la ventilación de los invernaderos?*
17. *¿De qué manera se realiza el control de las variables ambientales en los invernaderos? (en caso de ser si, como)*
18. *¿Existe capacitación del personal que está a cargo de los invernaderos?*
19. *¿Cree usted que la automatización del invernadero ayudaría a la producción agrícola de La Granja?*

Anexo VI: Manual de usuario del SAI



MANUAL DE USUARIO

SAI
SISTEMA AUTOMATIZADO DEL INVERNADERO

MODO AUTOMÁTICO Y MANUAL

Andrés Dávila M.
24-11-2022

MANUAL DEL SAI – ECAA

MODO MANUAL Y AUTOMÁTICO

Introducción

El Sistema Automatizado de Invernadero para La Granja de la ECAA en la PUCE-SI, está desarrollado para el control del riego y las condiciones ambientales, tanto en modo manual como automático, permitiendo el ahorro de tiempo y recursos humanos para dichas tareas. Además, obtenemos el reporte del invernadero en tiempo real.

MODO MANUAL

En el modo manual, el operario puede controlar el invernadero por medio de un tablero de control, dependiendo de las necesidades que crea convenientes.



Sistema: Para iniciar el sistema, es necesario girar el selector a la posición de encendido, y para apagar todo el sistema se debe girar el selector a posición de apagado.



Luces piloto: Estas luces muestran el estado del control, las luces de la derecha muestran encendido-verde y apagado-rojo, de todo el sistema; mientras que las de la derecha muestran encendido-verde y apagado-rojo del paro de emergencia.



Pantalla LCD: Muestra las mediciones de los sensores y el estado que se encuentra el invernadero.



Paro de emergencia: Bloquea toda la energía a los actuadores, parando cualquier acción que se esté realizando. Para activar el paro de emergencia es necesario presionar el botón rojo, mientras que si se desea desactivarlo se debe girar el botón a la derecha.



Modo: Establece el modo en el que actúa el sistema. Entonces, para activar el modo manual se debe girar el selector al lado izquierdo, mientras que para activar el modo automático hay que girar el selector a la derecha.



Riego: Enciende o apaga el riego. Para activar el riego se debe girar el selector a la derecha a la posición ON, mientras que para apagar el riego es necesario girar la perilla a la posición OFF.



Control de cortinas: Para la cortina 1 es necesario girar a la derecha para abrir las cortinas y para cerrar se debe girar la perilla al lado izquierdo. En el caso de la cortina 2 es todo lo contrario, girar a la izquierda para abrir y a la derecha para poder cerrar. Después de cualquier acción es recomendable poner el selector en posición de OFF para evitar cualquier inconveniente.



Luces piloto del riego y cortinas: Estas luces piloto, se encienden cuando se activan los actuadores, ya sea el riego o una de las cortinas, se apaga cuando se desactivan los actuadores.



NOTA: El tablero de control se encuentra dentro del invernadero y solo debe ser manipulado por la persona encargada de cuidar y controlar el cultivo, teniendo en cuenta que se está manipulando mecanismos eléctricos y electrónicos.

MODO AUTOMÁTICO

En el modo manual el operario no debe intervenir manualmente, siempre y cuando al inicio del ciclo de cultivo se hayan parametrizado todas las características propias del cultivo para que los cálculos y la toma de decisiones del sistema sean eficientes. Entonces, dicha parametrización se la realiza en el sistema web de monitorización.

Sistema web SAI

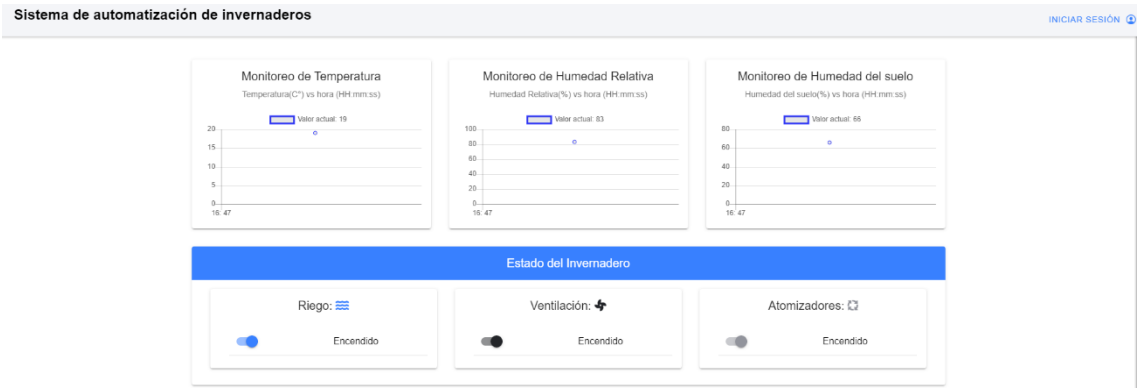
El sistema de monitorización y control, permite al usuario visualizar ciertas opciones de los invernaderos automatizados para su mejor control y monitorización. Entonces, el sistema se divide en dos roles: usuario anónimo y usuario administrador.

Usuario anónimo

El usuario anónimo es aquel que no necesita del login para poder entrar al sistema, por lo tanto, puede ser cualquier persona a la que se le proporcione el link del sistema web. Únicamente podrá ver la pantalla de dashboard, en la cual se muestra unos gráficos a manera de histograma de las mediciones actuales del invernadero y el estado del riego, cortinas y atomizadores.

Para ingresar al sistema se debe acceder en cualquier navegador (de preferencia Google Chrome) al siguiente link:

http://172.16.19.147:8002/



Se encuentran los gráficos que muestran las mediciones de los sensores de temperatura ambiental, humedad relativa y humedad del suelo, en forma de gráfico lineal.

Finalmente se encuentra el estado del invernadero, que muestra en qué estado se encuentran las cortinas, el riego y los atomizadores.

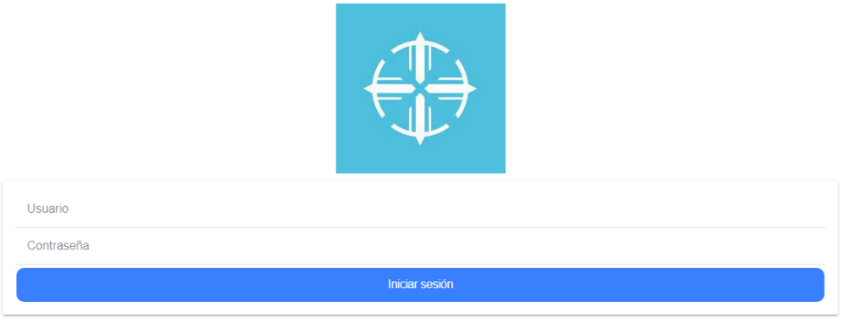
Usuario administrador

El usuario administrador es aquel que necesita un acceso mediante login para poder ingresar a todas las opciones del sistema, en el cual será capaz de gestionar invernaderos, gestionar ciclos de cultivo con sus respectivos parámetros, gestionar cultivos con los parámetros específicos de cada uno y reportes.

Para el usuario administrador, el procedimiento de ingreso es el mismo que el usuario anónimo, pero, después de entrar al dashboard se debe dar clic en **Iniciar sesión** en la parte superior derecha de la ventana para ingresar al login.



Una vez ahí, se muestra la siguiente ventana, en donde pide un usuario y contraseña para poder ingresar a las opciones de administrador.



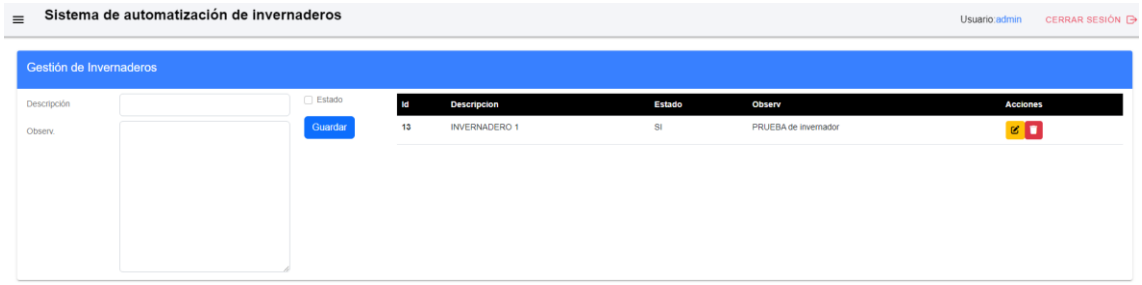
Después de ingresar el usuario y contraseña, se debe dar clic en el botón **Iniciar sesión,** entonces se mostrará una ventana de inicio, con las opciones de administrador en el menú de la izquierda.

El menú tiene las opciones **INVERNADEROS, CICLOS DE CULTIVO, CULTIVOS Y REPORTES.**



Invernaderos

Dentro de este menú el usuario administrador puede crear, eliminar y modificar los invernaderos.

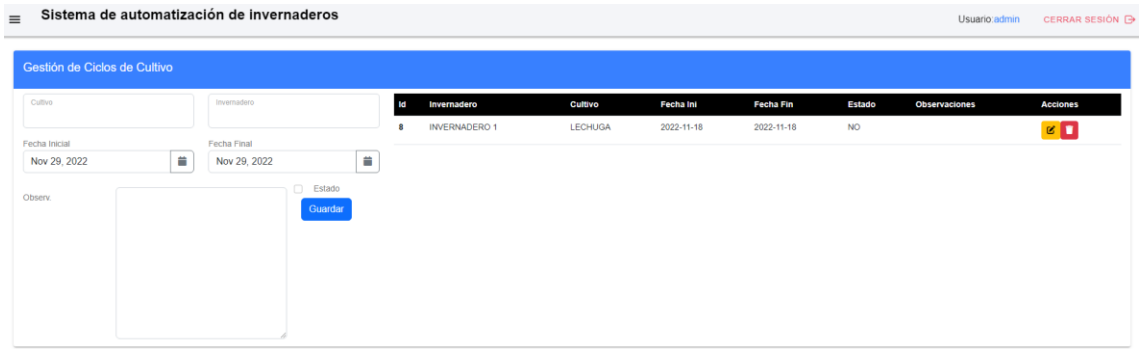


Para crear nuevos registros se debe llenar los campos y dar clic en el botón **Guardar.** En el caso de modificar los registros, es necesario dar clic en el botón amarillo de **Editar**. Finalmente, para eliminar un registro se debe dar clic en botón rojo **Eliminar**

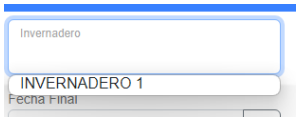
Ciclos de cultivo

Los ciclos de cultivo son creados para indicar cuando inicia un ciclo, finaliza y que tipo de cultivo se está desarrollando en el invernadero. Entonces, hay que tomar en cuenta

que, para crear un ciclo de cultivo en un invernadero, primero se debe crear dicho invernadero.



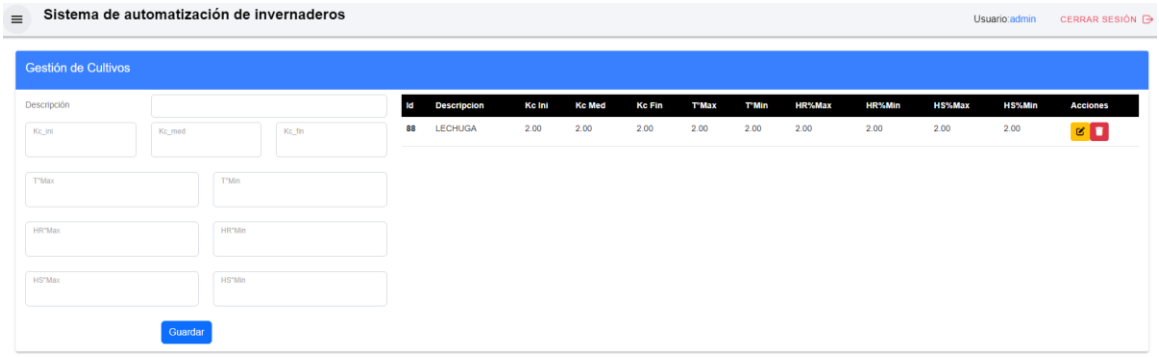
Para poder gestionar un ciclo de cultivo primero se debe escoger el invernadero en la lista desplegable.



En este punto, ya se pueden gestionar los ciclos de cultivo, para crear uno nuevo se debe llenar todos los campos y dar clic en el botón **Guardar.** Para editar un registro se debe seleccionar dicho registro y dar clic en el botón amarillo **Editar**. Finalmente, para eliminar un registro se debe escoger dicho registro y dar clic en el boto rojo de **Eliminar.**

Cultivos

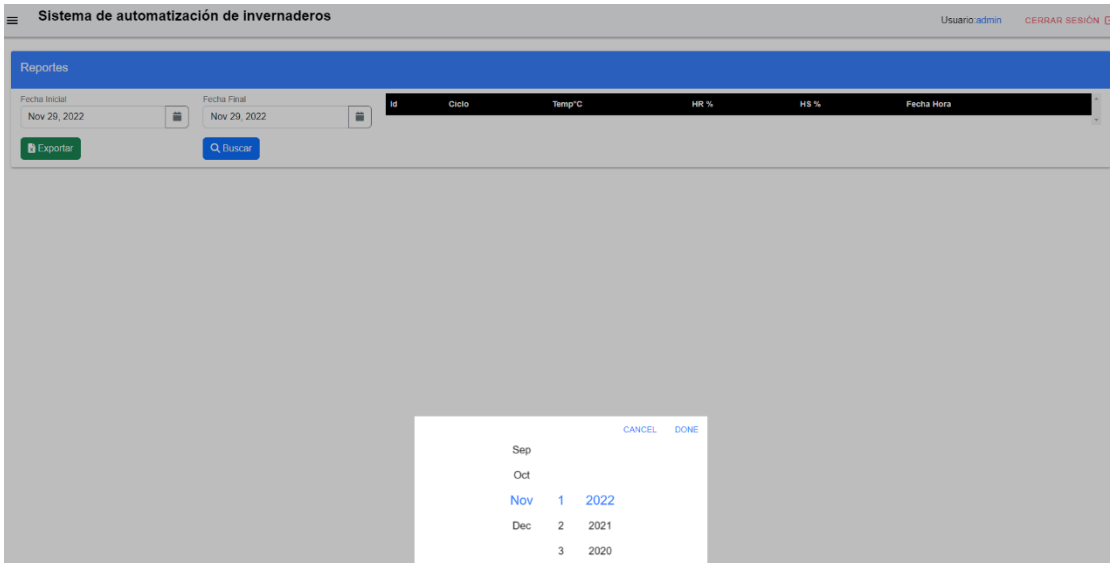
Se podrá gestionar los cultivos que se van a incluir en los ciclos de cultivos. Además, cada cultivo tiene características específicas que se podrán parametrizar, por lo tanto, hay que tener cuidado de ingresar valores reales ya que estos se tomarán en cuenta para el cálculo de la evapotranspiración y la toma de decisiones por la placa principal en el invernadero.



Para crear un cultivo nuevo se debe llenar todos los campos y dar clic en el botón **Guardar**. Para editar un registro se debe seleccionar dicho registro y dar clic en el botón amarillo de **Editar**. Finalmente, para eliminar un registro se debe escoger dicho registro y dar clic en el boto rojo de **Eliminar.**

Reportes

En la opción reportes, el usuario administrador será capaz de revisar reportes de mediciones de los sensores para la toma de decisiones de parametrización o ajuste en las características del cultivo, además de exportarlo en un archivo .xlsx

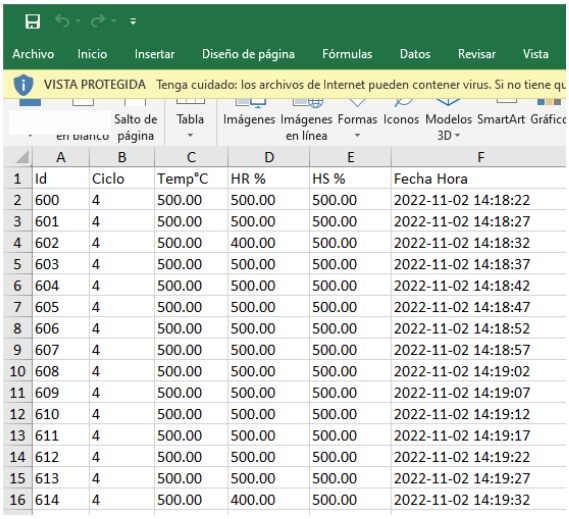


Debemos solamente seleccionar las fechas de inicio y final de los reportes que se desee buscar y dar en el botón **Buscar.** Para poder exportar dicho reporte se da clic

en el botón **Exportar** para que se pueda descargar y generar nuestro archivo **Reporte.xlsx**.



Podemos ejecutar el archivo para visualizar nuestros datos.



	A	B	C	D	E	F
1	Id	Ciclo	Temp°C	HR %	HS %	Fecha Hora
2	600	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:22
3	601	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:27
4	602	4	500.00	400.00	500.00	2022-11-02 14:18:32
5	603	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:37
6	604	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:42
7	605	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:47
8	606	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:52
9	607	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:18:57
10	608	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:19:02
11	609	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:19:07
12	610	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:19:12
13	611	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:19:17
14	612	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:19:22
15	613	4	500.00	500.00	500.00	2022-11-02 14:19:27
16	614	4	500.00	400.00	500.00	2022-11-02 14:19:32

Cerrar sesión

Finalmente, para cerrar sesión, es necesario dar clic en el botón **Cerrar sesión** en la parte superior derecha de la ventana.



Anexo IV: Diagrama componentes electrónicos

