



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

RPC-SO-30-NO.508-2019

OPCIÓN DE  
TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

DESARROLLO DE UN MODELO DE MACHINE LEARNING  
EN LA NUBE PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE UNA  
PLANTACIÓN DE ROSAS.

AUTORES:

JHONY FERNANDO ALBÁN BAUTISTA

DIEGO MAURICIO ZABALA CHICO

DIRECTOR:

MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE

QUITO - ECUADOR  
2022

COHORTE  
2020 -2021

**Autor:**



***Jhony Fernando Albán Bautista***

Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones  
Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización,  
Mención Informática Industrial por la Universidad  
Politécnica Salesiana - Sede Quito.

[jalbanb@est.ups.edu.ec](mailto:jalbanb@est.ups.edu.ec)

**Autor:**



***Diego Mauricio Zabala Chico***

Ingeniero en Electrónica  
Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización,  
Mención Informática Industrial por la Universidad  
Politécnica Salesiana - Sede Quito.

[dzabala@est.ups.edu.ec](mailto:dzabala@est.ups.edu.ec)

**Dirigido por:**



***Manuel Rafael Jaya Duche***

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
Magíster en Redes de Información y Conectividad

[mjaya@ups.edu.ec](mailto:mjaya@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

© 2022 Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMERICA

ALBÁN BAUTISTA JHONY FERNANDO

ZABALA CHICO DIEGO MAURICIO

***DESARROLLO DE UN MODELO DE MACHINE LEARNING EN LA NUBE PARA  
MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTACIÓN DE ROSAS.***

# Índice general

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Índice de Figuras</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>Índice de Tablas</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>Abstract</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1. Introducción</b>                                       | <b>11</b> |
| 1.1. Descripción general del problema.                       | 12        |
| 1.2. Objetivos   | 12        |
| 1.2.1. Objetivo general                                      | 12        |
| 1.2.2. Objetivos específicos                                 | 12        |
| 1.3. Contribuciones  | 12        |
| 1.4. Organización del manuscrito                             | 13        |
| <b>2. Marco Referencial</b>                                  | <b>14</b> |
| 2.1. Estado del arte   | 15        |
| 2.2. Definiciones previas                                    | 17        |
| 2.2.1. Inteligencia Artificial (IA)                          | 18        |
| 2.2.2. Aprendizaje Automático                                | 18        |
| 2.2.3. Algoritmos de entrenamiento (Aprendizaje Supervisado) | 19        |
| 2.2.4. Tipos de regresiones                                  | 19        |
| 2.2.5. Sistemas Embebidos                                    | 20        |
| 2.2.6. Lenguajes de programación                             | 21        |
| 2.2.7. Monitorización y Control                              | 21        |
| 2.2.8. Internet de las cosas (IoT)                           | 22        |
| 2.2.9. Plataforma  | 24        |
| 2.2.10. Cultivo de Rosas                                     | 25        |
| 2.2.11. Invernaderos Inteligentes                            | 25        |
| 2.2.12. Condiciones para cultivo de rosas                    | 25        |
| <b>3. Marco Metodológico</b>                                 | <b>27</b> |
| 3.1. Materiales a utilizar                                   | 28        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.1.1.    | Raspberry Pi 4 Model B . . . . .                                 | 28        |
| 3.1.2.    | Arduino Uno . . . . .  | 28        |
| 3.1.3.    | Sensores de Temperatura . . . . .                                | 29        |
| 3.1.4.    | Sensor FC-28 . . . . .   | 30        |
| 3.1.5.    | Válvula Solenoide Jinsheng . . . . .                             | 31        |
| 3.1.6.    | Ventilador Wathai 20060 . . . . .                                | 32        |
| 3.1.7.    | Plataformas IoT . . . . .  | 32        |
| 3.1.8.    | Tipos de Invernaderos . . . . .                                  | 35        |
| 3.1.9.    | Métodos de selección . . . . .                                   | 37        |
| 3.2.      | Desarrollo . . . . .   | 38        |
| 3.2.1.    | Diagrama y Esquema Implementado . . . . .                        | 38        |
| 3.2.2.    | Plataforma thethings.iO . . . . .                                | 40        |
| 3.2.3.    | Sistema embebido . . . . .                                       | 44        |
| 3.2.4.    | Modelo - Machine Learning . . . . .                              | 45        |
| 3.2.5.    | Programación . . . . .   | 46        |
| 3.2.6.    | Placa de control . . . . .                                       | 52        |
| 3.2.7.    | Construcción del prototipo . . . . .                             | 53        |
| 3.2.8.    | Plantación y condiciones para el desarrollo de la rosa . . . . . | 55        |
| <b>4.</b> | <b>Resultados</b> . . . . .                                      | <b>57</b> |
| 4.1.      | Obtención de datos . . . . .                                     | 57        |
| 4.2.      | Pruebas y operación del Invernadero . . . . .                    | 58        |
| 4.3.      | Análisis de valores con Algoritmo de Regresión Lineal . . . . .  | 60        |
| 4.3.1.    | Visualización de datos plataforma thethings.iO . . . . .         | 69        |
| 4.4.      | Conclusiones . . . . .   | 71        |



# Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Boceto de IA . . . . .                                       | 18 |
| 2.2. Tipos de Machine Learning. . . . .                           | 19 |
| 2.3. Sistema embebido. . . . .                                    | 21 |
| 2.4. Parámetros y tipos de agua en el suelo. . . . .              | 22 |
| 2.5. Estructura de ecosistema IoT . . . . .                       | 23 |
| 2.6. Transformación digital entre personas, cosas,datos . . . . . | 23 |
| 2.7. Arquitectura de capas. . . . .                               | 24 |
|   |    |
| 3.1. Raspberry Pi 4 Model B . . . . .                             | 28 |
| 3.2. Arduino Uno . . . . .  | 29 |
| 3.3. Sensor DHT22 . . . . .                                       | 30 |
| 3.4. FC-28. . . . .   | 30 |
| 3.5. Válvula Solenoide . . . . .                                  | 31 |
| 3.6. Ventilador Wathai 20060 . . . . .                            | 32 |
| 3.7. Plataforma Thinger.io. . . . .                               | 33 |
| 3.8. Plataforma Thingspeak. . . . .                               | 33 |
| 3.9. Plataforma thethings.iO. . . . .                             | 34 |
| 3.10. Plataforma Node-Red. . . . .                                | 34 |
| 3.11. Plataforma Blynk. . . . .                                   | 35 |
| 3.12. Túnel . . . . .   | 35 |
| 3.13. Capilla (a dos aguas). . . . .                              | 36 |
| 3.14. Diente de Sierra. . . . .                                   | 36 |
| 3.15. Techo Curva. . . . .  | 36 |
| 3.16. Multicapilla. . . . .                                       | 37 |
| 3.17. Diagrama . . . . .  | 39 |
| 3.18. Esquema . . . . .   | 39 |
| 3.19. Registro plataforma Thethings.iO. . . . .                   | 40 |
| 3.20. JSON - selección del perfil. . . . .                        | 41 |
| 3.21. Selección del perfil. . . . .                               | 41 |
| 3.22. Activar Things. . . . .                                     | 42 |
| 3.23. Identificación ID. . . . .                                  | 42 |
| 3.24. Identificador ID y Token. . . . .                           | 43 |

|   |    |
|---|----|
| 3.25. Editor panel. . . . .                                   | 43 |
| 3.26. Visualizador del panel. . . . .                         | 44 |
| 3.27. Plataforma y datos evaluados. . . . .                   | 44 |
| 3.28. Ventana de acceso . . . . .                             | 46 |
| 3.29. Placa de control . . . . .                              | 52 |
| 3.30. PCB Layout, diseño en baquelita . . . . .               | 52 |
| 3.31. Diseño del prototipo(Perspectiva). . . . .              | 53 |
| 3.32. Estructura vista frontal . . . . .                      | 53 |
| 3.33. Estructura vista posterior . . . . .                    | 54 |
| 3.34. Estructura armada . . . . .                             | 54 |
| 3.35. Terreno con tierra negra, humus, cal agrícola . . . . . | 55 |
| 3.36. Terreno reposado . . . . .                              | 55 |
| 3.37. Estructura con plástico . . . . .                       | 56 |
| 4.1. Ubicación invernadero . . . . .                          | 57 |
| 4.2. Operación, método tradicional . . . . .                  | 58 |
| 4.3. Operación, mediante Machine Learning . . . . .           | 59 |
| 4.4. Estado de la rosa, Utilizando Machine Learning . . . . . | 59 |
| 4.5. Estado de la rosa, Método tradicional . . . . .          | 60 |
| 4.6. Datos Humedad ambiente día No.1 . . . . .                | 62 |
| 4.7. Datos temperatura día No.1 . . . . .                     | 62 |
| 4.8. Datos humedad de suelo día No.1 . . . . .                | 62 |
| 4.9. Regresión lineal humedad de suelo . . . . .              | 63 |
| 4.10. Regresión lineal temperatura . . . . .                  | 64 |
| 4.11. Regresión lineal humedad del suelo . . . . .            | 64 |
| 4.12. Datos humedad ambiente día No. 2 . . . . .              | 65 |
| 4.13. Datos temperatura día No. 2 . . . . .                   | 66 |
| 4.14. Datos humedad de suelo día No. 2 . . . . .              | 66 |
| 4.15. Regresión lineal humedad ambiente . . . . .             | 66 |
| 4.16. Regresión lineal temperatura . . . . .                  | 67 |
| 4.17. Regresión lineal humedad - suelo . . . . .              | 67 |
| 4.18. Regresión lineal humedad ambiente . . . . .             | 68 |
| 4.19. Regresión lineal temperatura . . . . .                  | 68 |
| 4.20. Regresión lineal humedad de suelo . . . . .             | 69 |
| 4.21. Visualización, variables climáticas . . . . .           | 69 |
| 4.22. MAE Humedad . . . . .                                   | 70 |
| 4.23. MAE temperatura . . . . .                               | 70 |
| 4.24. MAE Humedad Suelo . . . . .                             | 71 |

# Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Fertilización por cama en una plantación . . . . .    | 26 |
| 3.1. Descripción de tarjetas Raspberry . . . . .           | 28 |
| 3.2. Arduino Uno, Leonardo y Mega 2560 . . . . .           | 29 |
| 3.3. Sensores LM35, DHT11 y DHT22 . . . . .                | 29 |
| 3.4. Especificaciones técnicas FC-28 y DHT11 . . . . .     | 31 |
| 3.5. Válvulas Jinsheng y Smart Solu . . . . .              | 31 |
| 3.6. Características de los ventiladores . . . . .         | 32 |
| 3.7. Criterio de selección Tipos de invernaderos . . . . . | 38 |
| 3.8. Criterio de selección plataformas IoT . . . . .       | 38 |
| 4.1. Datos adquiridos en tiempo real día No. 1 . . . . .   | 61 |
| 4.2. Datos adquiridos en tiempo real día No. 2 . . . . .   | 65 |
| 4.3. Datos adquiridos en tiempo real día No. 3 . . . . .   | 67 |

# Listings

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Programación Rx . . . . .                    | 46 |
| 3.2. Predicción Lineal . . . . .                  | 48 |
| 3.3. Envío de información ttrest . . . . .        | 50 |
| 3.4. Programación actuadores en arduino . . . . . | 50 |

# Resumen

El objetivo del presente proyecto es mejorar la producción de una plantación de rosas, para optimizar la calidad del producto y brindar más capacidad de ventas en mercados nacionales e internacionales, mediante un modelo de machine learning y un sistema embebido, para el desarrollo se utiliza el entorno de programación Python, con compatibilidad con la plataforma thethings.iO y librerías existentes, se obtiene datos por medio de sensores logrando adquirir información sobre el comportamiento de la nave florícola, esta información será almacenada y procesada para una post evaluación, permitiendo entrenar a un conjunto de datos, los mismos que dependiendo de su estado y el entrenamiento del modelo accionan los actuadores dentro de la nave.

El modelo de Regresión Lineal trabaja conjuntamente con el sistema embebido para obtener datos enfocados a una mejora dentro del sistema de desarrollo, al tener determinado el modelo, se lleva a cabo un estudio de datos obtenidos, en humedad del ambiente, temperatura y humedad del suelo mediante históricos, siendo estos visualizados en la plataforma thethings.iO en tiempo real.

Los resultados evidencian el buen desarrollo de la planta de rosas en la etapa de crecimiento y floración, a los 50 días de plantada la rosa, mediante el método tradicional, el tallo es fino, flexible y semi erecto, de aproximadamente 70 cm de altura, algunas hojas con manchas, botones ciegos y rosas relativamente pequeñas con escasos pétalos, utilizando el modelo de regresión lineal, las características son mejoradas en un 30 %, el tallo es grueso, rígido y erecto, de aproximadamente 95 cm de altura, hojas verdes sin manchas, sin botones ciegos y rosas grandes con abundantes pétalos.

Finalmente, se realizan pruebas de campo, arrojando los siguientes resultados; utilizando el modelo de machine learning, se mejora la producción aproximadamente un 50 %, en comparación con el método tradicional, debido al control apropiado de humedad del ambiente, temperatura y humedad del suelo, logrando mantener los umbrales adecuados; humedad del ambiente, entre 70-85 % de forma constante, temperatura 20-22°C durante el día y 14°C como mínimo durante la noche y humedad del suelo entre 300-700 %, en base a estas variables, se garantiza que la planta de rosas a sus 50 días esté en las mejores condiciones, generando así competitividad y beneficios económicos.

**Palabras clave:** Sistema embebido, Algoritmo, Aprendizaje automático, Thethings.

# Abstract

The objective of this project is to improve the production of a rose plantation, to optimize the quality of the product and provide more sales capacity in national and international markets, through a machine learning model and an embedded system, for the development is used the Python programming environment, with compatibility with the platform thethings. iO platform, existing libraries, data is obtained through sensors, acquiring information about the behavior of the flower ship, this information will be stored and processed for a post evaluation, allowing to train a set of data, which depending on their status and the training of the model, activate the actuators inside the ship.

The Linear Regression model works together with the embedded system to obtain data focused on an improvement within the development system. Once the model is determined, a study of the data obtained is carried out, in environmental humidity, temperature and soil humidity by means of historical data, which are visualized in the thethings.iO platform in real time.

The results show the good development of the rose plant in the growth and flowering stage, 50 days after planting the rose, using the traditional method, the stem is thin, flexible and semi erect, approximately 70 cm high, some leaves with spots, using the linear regression model, the characteristics are improved by 30 %, the stem is thick, stiff and erect, approximately 95 cm tall, green leaves without spots, no blind buds and large roses with abundant petals.

Finally, field tests are conducted, yielding the following results; using the machine learning model, production is improved by approximately 50 %, compared to the traditional method, due to the appropriate control of ambient humidity, temperature and soil moisture, managing to maintain the appropriate thresholds; Ambient humidity, between 70-85 % constantly, temperature 20-22°C during the day and 14°C at least during the night and soil humidity between 300-700 %, based on these variables, it is guaranteed that the rose plant at its 50 days is in the best conditions, thus generating competitiveness and economic benefits.

**Keywords:** Embedded system, Algorithm, Machine learning, Thethings.

# Capítulo 1

## Introducción

En la actualidad la floricultura se realiza en varios sectores del Ecuador, tiene una gran aceptación y representa de las exportaciones no tradicionales como el petróleo, banano y cacao, es una gran fuente de empleo, sin embargo, el mercado internacional demanda cada vez más de un producto de mejor calidad. García [2019] La Florícola “La Herradura” al ser una empresa exportadora de rosas a nivel mundial debe estar a la par de otras grandes empresas en cuanto a tecnología y calidad se refiere, sin embargo, el nivel de monitorización y control dentro de los invernaderos es simple a diferencia de países como, España, Holanda, Francia e Italia, donde la mayoría de procesos industriales se monitorea y controla mediante plataformas informáticas, desde una PC. Las variables temperatura y humedad del suelo que se identifica en el interior de un invernadero, son variables fundamentales que influyen directamente en las diferentes fases del cultivo de rosas. En las florícolas ecuatorianas se aplican métodos convencionales para controlar la temperatura, humedad, porcentaje en el regadío de agua y fertiirrigación, esto conlleva gasto de recursos y tiempo, para continuar progresando en el desarrollo del sector florícola, es necesario ir modernizando estos procesos. Este proyecto se centra principalmente en desarrollar un modelo de machine learning en la nube, capaz de monitorear y controlar la temperatura, humedad ambiental y humedad del suelo, utilizando un algoritmo de regresión lineal, integrado con un sistema embebido que realiza el procesamiento de datos en tiempo real

## 1.1. Descripción general del problema.

Las técnicas utilizadas para el proceso de producción en una plantación de rosas son inadecuadas, puesto que, de forma rudimentaria, a simple vista se determina la cantidad de agua a suministrar esto en la humedad del suelo, en la temperatura si el clima se encuentra soleado los trabajadores abren las denominadas cortinas de forma manual, si esta nublado o lluvioso simplemente permanecen cerradas, esto en las naves o invernaderos, causando en varios casos que el producto final no sea el esperado, rosas pequeñas con pocos pétalos, deformes, con manchas, color pálido, hongos en el suelo y en otros casos, la pérdida total de las plantaciones. Existen varios factores que conllevan a que el producto no sea de la mejor calidad, entre los principales están el manejo inadecuado de la humedad del suelo, el control de temperatura al interior de nave, la aplicación inadecuada de la técnica de fertirrigación, control inexistente de la cantidad de agua y fertilizantes a ser aplicados, todos estos factores conllevan que se produzca y afecte en el rendimiento de la plantación, en consecuencia, la contaminación de aguas subterráneas alojadas ya en la raíz del cultivo, por lo tanto, la producción de rosas no estará dentro de los estándares para competir en el mercado.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de machine learning en la nube para la mejora de la producción en una plantación de rosas empleando hardware y software especializado.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte de sistemas embebidos y algoritmos basados en machine learning en industrias florícolas, mediante la revisión sistemática de factibilidad en hardware y software estableciendo así la mejor elección de instrumentación.
- Utilizar una plataforma para la adquisición de datos en la planta empleando sistemas embebidos.
- Desarrollar un sistema para la evaluación de los datos obtenidos empleando un algoritmo de machine learning.
- Validar el funcionamiento del modelo desarrollado, mediante pruebas de campo y recolección de datos, para la evaluación de su eficiencia.

## 1.3. Contribuciones

Este trabajo origina una contribución al desarrollo de un modelo de machine learning por medio de la composición de tecnologías basadas en regresiones lineales, apoyando de manera propia a varios campos dentro de la producción agrícola, logrando de esta



forma obtener resultados importantes en la mejora, desarrollo, manejo, tecnificación y producción de plantaciones de rosas.

## 1.4. Organización del manuscrito

El presente manuscrito está compuesto por 4 capítulos, que se organizan de la siguiente manera:

- Capítulo 1. En el presente capítulo se expone un resumen e introducción al tema de este proyecto, detallando el problema existente, así como las contribuciones y aportes.
- Capítulo 2. Se considera el estado del arte, presentando definiciones previas para la comprensión de los distintos temas que se abordan en este proyecto.
- Capítulo 3. Se muestra el procedimiento y metodología utilizada en el diseño del modelo para poder cubrir todos los objetivos del proyecto.
- Capítulo 4. Se detalla el funcionamiento del algoritmo empleado y se presentan los resultados obtenidos.

## Capítulo 2

# Marco Referencial

En el presente capítulo, se expone el estado del arte con respecto a sistemas de monitorización y control en el sector agrícola, y otras investigaciones realizadas a nivel mundial sobre variables ambientales basadas en machine learning. Los fundamentos teóricos como los conceptos básicos serán definidos a continuación en el proyecto.

## 2.1. Estado del arte

Se realizó una investigación basada en documentos cualitativos, para revisar trabajos que abordan conceptos orientados a diseñar un modelo de machine learning para mejorar la producción de rosas, teniendo en cuenta los estudios como los resultados de artículos científicos que se generan por medio de otros autores, que han desarrollado temas de estudio relacionados al proyecto de investigación.

El sector floricultor es un actor fundamental en el desarrollo del país, siendo la actividad agrícola que más empleo genera. A nivel mundial Ecuador es uno de los países que genera mayor exportación de rosas. [Velásquez, 2016]

Según [Shakoor et al., 2017] en esta era de tecnología, la aplicación de métodos científicos y aprendizaje automatizado en la resolución de distintos problemas han pasado de ser una tendencia a convertirse en una necesidad, esto conlleva a que países de primer mundo estén más avanzados en la industria farmacéutica, educación, tecnología, agricultura, medicina, industria química, etc. Al aplicar un aprendizaje automatizado basado en la tecnología se hace que la agricultura sea mas eficiente y rentable.

El control de procesos y la monitorización de sistemas son un caso que se plantea resolver en diversos campos, uno de ellos la agricultura. Los procesadores utilizados varían desde un simple microcontrolador hasta sistemas operativos en tiempo real [García, 2019].

Ecuador es considerado uno de los países con grandes ventajas ambientales para el desarrollo del sector florícola, entre las actividades que dan lugar al desarrollo económico y social está la plantación y el cultivo de rosas [Gómez Rea et al., 2014]. Los procedimientos de monitorización y control del estado de las plantaciones de rosas en la florícola “La Herradura” son rudimentarios, es decir, se encuentran manipulados al azar sin ningún sustento científico. En la industria florícola, el desarrollo se encuentra enmarcado en cada proceso de innovación, uno de los procesos con más énfasis es el sistema de riego, dentro de este proceso viene enmarcado el sistema de fertirrigación, el mismo que al ser aplicado de manera correcta, garantiza una excelente calidad en cuanto al cultivo de rosas se refiere [Peña Guillen, 2011].

El autor [Iván, 2017] desarrolló un sistema donde las variables ambientales son controladas mediante una red inalámbrica generando un estudio de precisión de bajo costo, mediante software y hardware libre. De igual manera los autores [Mamani et al., 2017b] estudian el control y monitorización en una nave, evaluando en su interior las condiciones ambientales mediante la adquisición de valores por medio de sensores, estos valores obtenidos se llaman datos que son controlados mediante aplicaciones web desde internet en tiempo real.

Por otro lado, los autores [Castro et al., 2016] concluyen que se constituyó una red de sensores para obtener datos de humedad volumétrica, logrando controlar en diversos puntos del invernadero el riego por goteo en el cultivo. Por lo tanto, se puede alcanzar un rango de precisión alta por medio de herramientas que se caracterizan al estudiar un

promedio de humedad del suelo de manera global.

Los autores [Guillot et al., 2017] mencionan que la instalación de sistemas comerciales de monitorización y control requiere una fuerte inversión económica, debido a los componentes que lo integran, como son las estaciones para la medición de nivel, sistemas de comunicación, central de recepciones, bases de datos y aplicaciones. Por esta razón resulta viable el desarrollo de un sistema multi-sensores el mismo que logre controlar dispositivos remotamente.

Por otra parte, los autores [Quiñones-Cuenca et al., 2017] adquieren datos e información, con una capacidad de transmisión de datos en tiempo real. Los nodos están formados por una red de sensores, en la parte del procesamiento usa placas, Arduino Uno, en la parte de comunicación se emplea DigiMesh y Wi-Fi, para aplicar en diferentes escenarios, sea zonas urbanas y rurales, el abastecimiento de energía está conformado por paneles solares y baterías LiPo, el sistema se evaluó en plataformas de IoT. Adicionalmente, el autor [Palaguachi Encalada, 2018] diseñó una estación meteorológica basada en software libre, actuadores, sensores etc, para adquirir variables, los sensores se conectan al arduino, estas variables adquiridas se las envía a una Raspberry Pi, la cual, mantiene la base de datos y servidor web, esta mediante protocolos de comunicación industrial envía información al PLC, y por ende al sistema de monitoreo y control.

El autor [Kodali and Mahesh, 2017] menciona que la tecnología es un gran motor del cambio, Internet de las cosas (IoT) es la columna vertebral de estos motores revolucionarios. Básicamente, en el mundo real, las cosas que tienen capacidad de sensar suficiente suministro de energía y conectividad a internet lo hacen posible. Para una tecnología de crecimiento tan rápida, es necesario tener un protocolo de ancho de banda mínimo, muy ligero y económico. Debido al protocolo de transporte (MQTT), es fácil para los clientes publicar y/o suscribir el tema deseado a través del host que actúa como servidor de la red, también conocido como intermediario.

En el trabajo de [Sharma et al., 2020], sobre aplicaciones de aprendizaje automático para la agricultura, indica que los sensores inteligentes habilitados por (IoT) Internet de las cosas, los actuadores, las imágenes por satélites, los robots, los drones, etc. desempeñan un papel vital en la obtención de datos y en consecuencia poder decidir sin la intervención humana, la inteligencia artificial, los algoritmos de regresión son la columna vertebral para predecir las propiedades del suelo, el clima, identificación de enfermedades, malas hierbas y calidad de los cultivos. Las técnicas de riego inteligente y cosecha incrementan notablemente la producción y reducen la mano de obra.

[Saha and Majumdar, 2017] desarrolló una solución avanzada para la monitorización de la temperatura en diferentes puntos de ubicación en un centro de datos, haciendo que estos datos de temperatura sean visibles por medio de internet mediante un entorno visible en la nube y enviando alertas por mensaje de texto. Esto ayuda al equipo de gestión del centro de datos a tomar medidas inmediatas para rectificar esta desviación de temperatura. Además, esto puede ser monitorizado desde cualquier lugar en cualquier momento a través del panel de control en línea por profesionales de alto nivel que no

están presentes en el centro de datos en ningún momento.

Los autores [Kodali and Mahesh, 2017] mencionan que Micropython es un intérprete que ejemplifica conceptos en menos líneas de códigos. Este lenguaje de alto nivel posee códigos claros y expresivos diseñados para responder a las acciones. Es una implementación sencilla y eficiente del lenguaje de programación Python 3 que viene con la retroalimentación rápida del lenguaje y está optimizada para que la entrada interactiva se ejecute en microcontroladores o sistemas integrados. Este lenguaje de programación funcional y dinámica se porta al dispositivo ESP8266, DHT11 se interconecta con el ESP8266 de esta forma se logra adquirir las condiciones ambientales.

Según [Liakos et al., 2018] el análisis de datos mediante el uso de machine learning sienta las bases para el desarrollo de numerosas aplicaciones basadas en el sector agrícola, al aplicar el aprendizaje automático a los datos de los sensores, los sistemas de gestión agrícola están evolucionando hacia la realidad al proporcionar conocimiento para las decisiones posteriores con el alcance final de la mejora productiva, para aumentar los niveles de producción y los rendimientos.

[Rueda et al., 2018] generaron un experimento por 20 días, donde se desarrollo un control mediante machine learning y el uso de redes neuronales artificiales para un micro-invernadero, de este sistema se obtienen datos y se analiza la plantación, se realiza el control de variables ambientales, con ello se automatiza el riego, con una humedad de 20 al 21 %, temperatura estable de 28°C, los datos obtenidos por medio de los sensores se visualiza por una interfaz, con estos resultados la siembra se desarrolla en condiciones ambientales favorables.

La aplicación de técnicas de machine learning contribuyen a una rápida y eficiente detección de plagas en los cultivos, sin recurrir a un extenso análisis en laboratorio, esto conlleva a un ahorro importante. Por lo tanto, los productores pueden competir de mejor manera en el mercado internacional. [Castañeda Valdivieso et al., 2021]

[López-Aguilar et al., 2020] simula mediante técnicas de redes neuronales artificiales (RNA), la investigación tiene como objetivo utilizar ANN, para simular materia seca aérea acumulada (hoja, tallo y fruta). Se entrenaron y validaron dos ANN de retropropagación de avance, con tres capas ocultas, para ajustar características específicas. La capa de entrada estuvo constituida por el área foliar, cantidad de frutos, tallos, hojas secas y los grados-día de crecimiento a los 138 días después del trasplante.

## 2.2. Definiciones previas

Se detalla la mejor opción tanto en software como en hardware, conceptos, definiciones a utilizar para el análisis del proyecto.

### 2.2.1. Inteligencia Artificial (IA)

(IA) Inteligencia artificial [Boden, 2017], consiste en hacer que ordenadores imiten los procesos que puede hacer la mente humana, mediante la creación y aplicación de algoritmos diseñados para tomar decisiones utilizando datos en tiempo real (véase la Figura 2.1)

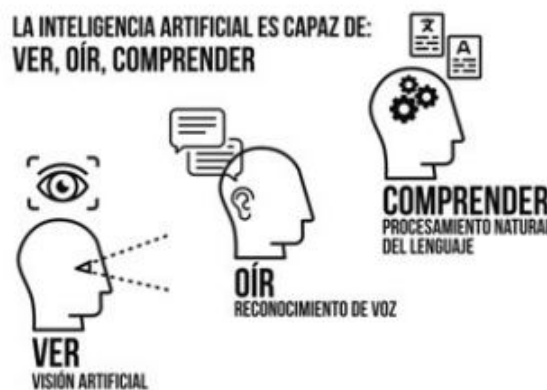


Figura 2.1: Boceto de IA  
Fuente.[Rouhiainen, 2020]

### 2.2.2. Aprendizaje Automático

Involucra la inteligencia artificial dentro de un campo en el cual se realiza un estudio científico basado en algoritmos computacionales, que emulan la inteligencia humana aprendiendo del entorno sin estar explícitamente programado, este usa algoritmos de aprendizaje logrando evaluar los datos y posteriormente este sepa que hacer, se trata del aprendizaje automatizado de las máquinas sobre los patrones de comportamiento para forjar nuevos comportamientos a partir de los datos suministrados con formas de modelos o ejemplos a seguir [Mahesh, 2020]

Se utiliza 4 tipos de técnicas, (véase la Figura 2.2)

**Aprendizaje Supervisado**, está técnica se ratifica que el algoritmo utiliza datos que estén procesados y organizados, así mostrar una nueva información, este tipo de aprendizaje requiere la intervención humana para proporcionar retroalimentación, en conclusión el modelo sabe previamente que es lo que quiere aprender, en este aprendizaje existe dos algoritmos: (**clasificación y regresión**). **Aprendizaje No-Supervisado**, no posee ningún tipo de dato organizado u etiquetado previamente para mostrar como debería ir la nueva información, este tipo de aprendizaje no necesita la intervención humana, por lo tanto, los algoritmos tendrán que organizar por su propia cuenta los datos.

**Aprendizaje Semi Supervisado**, utiliza datos para entrenamiento que contiene un porción de datos del aprendizaje supervisado es decir etiquetados y datos no supervisados.

**Aprendizaje por refuerzo**, en el cual los algoritmos aprenden por sí mismos pero no es de tipo supervisado ni de tipo no supervisado, es decir aprender a través de prueba y error, organizar datos y brindar una solución óptima al fijar objetivos. [Rouhiainen, 2020]

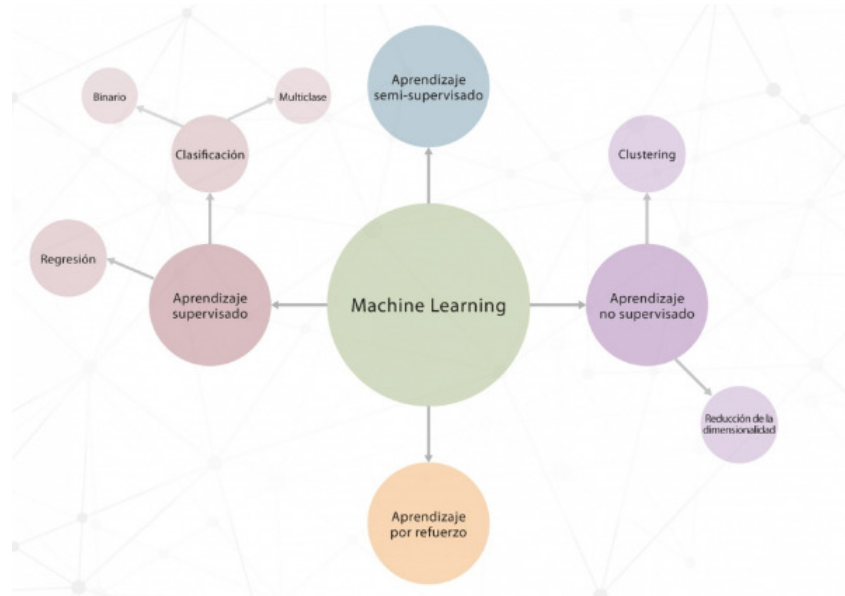


Figura 2.2: Tipos de Machine Learning.

Fuente:[Sanchez, 2020]

### 2.2.3. Algoritmos de entrenamiento (Aprendizaje Supervisado)

- **Algoritmo de clasificación**, este algoritmo define patrones en datos, clasifica en varios grupos dependiendo su cantidad, posteriormente los ordena y los ubica en algún grupo, logrando predecir de que trata, las variables son datos discretos, puede ser ordenada, binaria y múltiple.
- **Algoritmo de regresión**, este intenta minimizar un error de medida por medio de modelar una relación entre varias variables y así pronosticar respuestas a variaciones continuas como por ejemplo: humedad, temperatura, consumo de energía, principalmente se centra de esta manera en utilizar un método para generar una relación entre un número de características y una variable continua, por lo tanto, el algoritmo proporciona un conjunto de datos existentes para forma una recta.[Sandoval Serrano et al., 2018]

### 2.2.4. Tipos de regresiones

- **Regresión Lineal**

La regresión lineal es una técnica con enfoque a la estadística, el análisis de una regresión depende netamente de la recopilación de datos, estos valores se puede

obtener por medio de sensores y otros parámetros que generen un estudio, hay que recalcar que una regresión lineal genera predicciones mediante los valores continuos. A continuación, se expone razones para realizar un análisis de regresión, este modelo, es utilizado para determinar estimaciones, parámetros, predicciones, control de valores.

Cuando tenemos una variable ( $x$ ) en el modelo se lo conoce como regresión lineal, por lo tanto, si se tiene más variables ( $x$ ) se lo conoce como regresión lineal múltiple.[Moreno Echavarría, 2012]

1.- Se puede obtener una posible causalidad, por medio de la descripción de la relación entre las variables. 2.- Por medio de los datos de las variables independientes, se logra predecir a una variable dependiente.

- **Regresión Logística**

Esta regresión se dice que es un método de análisis multi-variado, siendo un instrumento estadístico dependiendo hasta cierto punto de una variable dependiente, que logra explicar y predecir datos de variables conocidas por medio de características cualitativas.[Chitarroni, 2002]

- **Árboles de Decisión** Son técnicas estadísticas que permiten segmentar, predecir, reducir datos y filtrar variables, el manejo de esta técnica identifica grupos, analiza y descubre las posibles relaciones que existan entre estos, de esta manera se pueda predecir eventos futuros.[Berlanga et al., 2013]

- **Deep Learning**

Este es un tipo de aprendizaje que consta de elementos, incluye algunos modelos predictivos y datos estadísticos, se puede analizar, interpretar y recompilar una gran cantidad de datos para generar un aprendizaje siendo un proceso rápido y más sencillo, para analizar el aprendizaje profundo se puede utilizar modelos sólidos para disminuir la tasa de aprendizaje. [LeCun et al., 2015]

### 2.2.5. Sistemas Embebidos

Sistema embebido, según [Arriarán, 2015] puede solventar varias operaciones computacionales que se generan en tiempo real, logrando llegar a una meta específica basándose en su entorno de operación, además un sistema embebido no es más que un circuito electrónico.

Como menciona [Pérez, 2009] existen varias enunciaciones de sistemas embebidos:

- Para que sea un sistema embebido debe contener un computador programable dentro de cualquier módulo.
- Sistema electrónico conformado por microcontrolador.



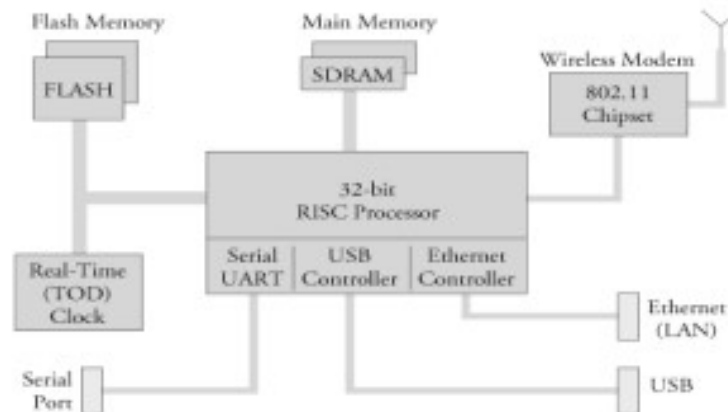


Figura 2.3: Sistema embebido.

Fuente[Pérez, 2009]

Hay que tener en cuenta que consta de los siguientes mecanismos:

- Software que tiene una función en particular.
- Por medio de un sistema operativo, se ejecuta métodos mediante la utilización de mecanismos de esta manera permite o logra supervisar aplicaciones.
- Hardware

### 2.2.6. Lenguajes de programación

Para la programación es necesario tener una herramienta denominada software IDE (Integrated Development Environment), [Arriarán, 2015] dice que mediante la utilización de la herramienta mencionada se hace una programación de instrucciones del sistema embebido, siendo de esta forma dentro del proceso de programación se necesitaría de una computadora para que ejecute cierto contenido en tiempo real.

### 2.2.7. Monitorización y Control

La monitorización y control se puede lograr sin la supervisión de un operario permanente, es decir, se puede hacer un control en tiempo real del sistema embebido, según [Pérez Monsalve, 2019] se puede llevar a cabo una automatización de un sistema convencional en el cual, el sistema embebido necesariamente debe concentrar micro controlares, sensores y actuadores.

Una monitorización efectiva se puede realizar mediante la medición de valores o datos estimados en un tiempo prudencial, logrando de esta forma cambiar a corto plazo decisiones en las prácticas de manejo para [Mamani et al., 2017a] una monitorización eficiente ayuda a evitar pérdidas económicas y también perdidas en especie.

Al monitorizar una parte de la formación agrícola, se puede tomar en cuenta la humedad en el suelo, condiciones ambientales dentro de entornos cerrados o abiertos, utilización de agua, proponiendo riegos de mejor precisión, para aquello [Coronado et al., 2019] indica que existen tecnologías en el riego de precisión, haciendo de esta forma un riego sostenible en eficiencia al consumo de agua y elevar la producción. Por lo tanto, se tiene los parámetros básicos referente al manejo ideal de riego.

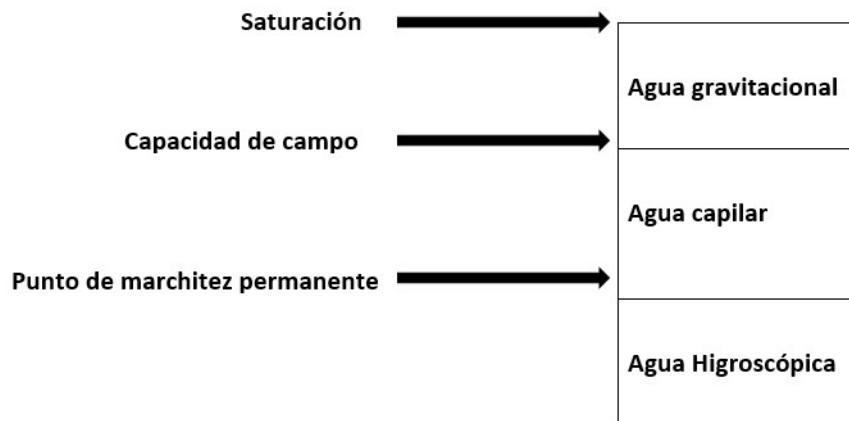


Figura 2.4: Parámetros y tipos de agua en el suelo.  
Fuente[Coronado et al., 2019]

### 2.2.8. Internet de las cosas (IoT)

Internet of Things (IoT), llamado internet de las cosas como menciona [García Ramos, 2018], siendo varios sistemas que se encuentran entrelazados entre sí, mediante estructuras globales que permite intercambiar de información por medio de redes formando arboles de información y logrando comunicarse mediante procesos de envío desde los sensores hacia alguna red, para luego guardarse en una base de datos o nube y realizar análisis, segmentar, procesar información, almacena, y finalmente ejecutar acciones dependiendo la operatividad y funcionalidad de los datos.

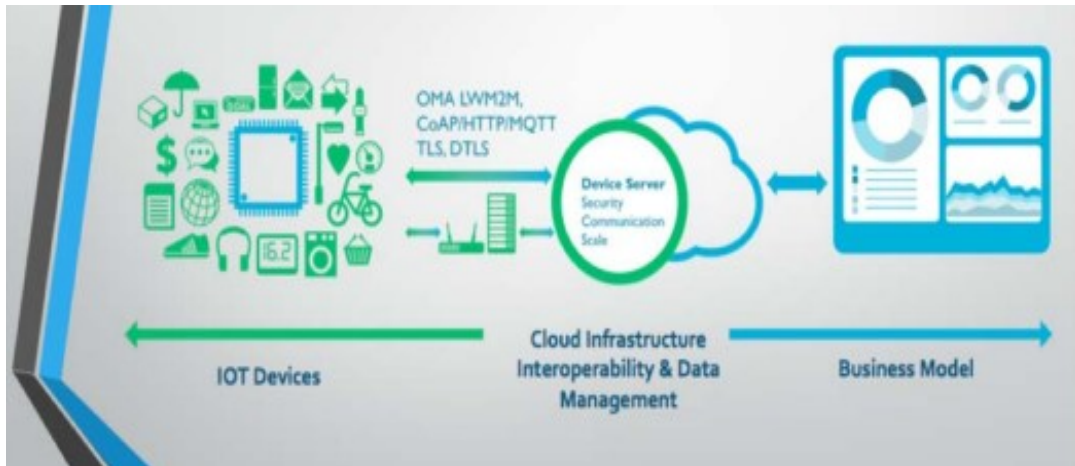


Figura 2.5: Estructura de ecosistema IoT  
Fuente[García Ramos, 2018]

IoT no es más que una tecnología que avanza con el tiempo interactuando con los sistemas implementados referidos a un árbol de objetos de una red compuesta por equipos como sensores, y software teniendo una idea puntual que es lograr conectarse entre sí, logrando de esta manera transferir datos a través del internet.

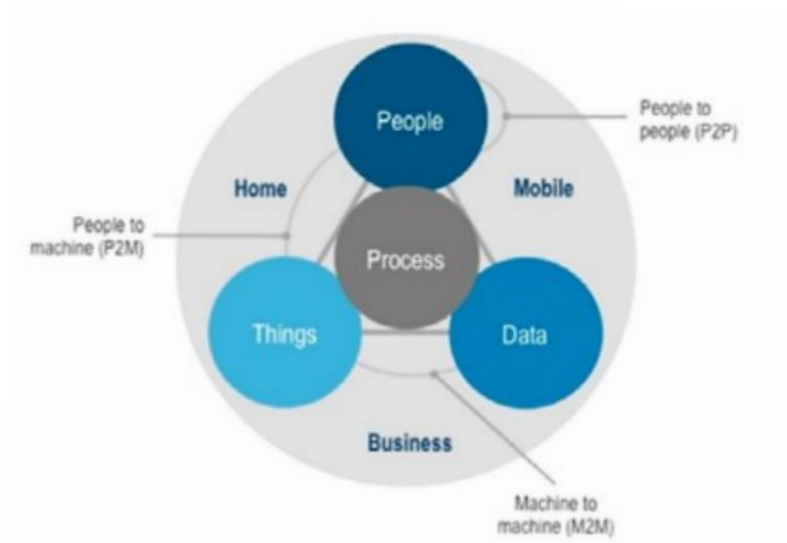


Figura 2.6: Transformación digital entre personas, cosas, datos  
Fuente[Barrionuevo Apaza, 2020]

### 2.2.9. Plataforma

Una plataforma IoT es la principal fuente donde se interactúa y es la base fundamental entre los dispositivos generando de esta manera un sistema completo con puntos de acceso de datos y redes que vinculan información para que la aplicación o plataforma trabaje con el usuario u operario.

Como comenta [Guerrero-Ibañez et al., 2017], hay que tener en cuenta que al añadir o vincular tecnología en la agricultura se logra incorporar un sin número de plataformas que abre una gran oportunidad de implementación, desarrollo y sobre todo precisión en diversos campos de monitorización. Haciendo de esta forma una agricultura de precisión.

Dentro de sus principales componentes de una plataforma está desarrollada para tener un entorno amigable con el servidor además satisfacer las necesidades, dentro de la arquitectura podemos apreciar que está conformada por las siguientes capas.

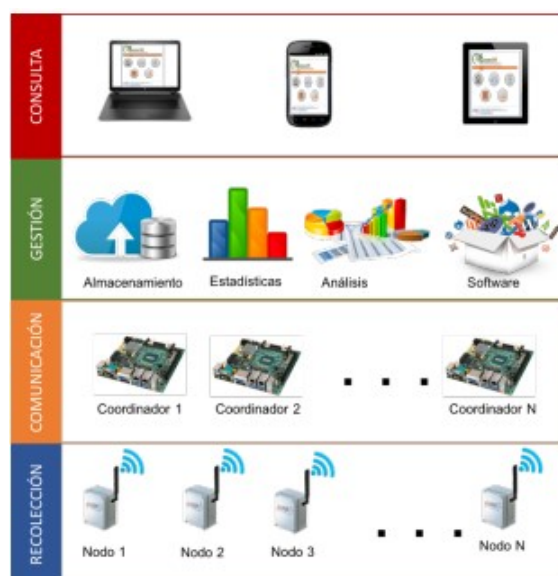


Figura 2.7: Arquitectura de capas.  
Fuente[Guerrero-Ibañez et al., 2017]

- Recolección: aquí se encuentra el hardware y contiene a sensores y actuadores.
- Comunicación: se logra la transmisión de datos que se logra adquirir por medio de los sensores y son enviados a la nube.
- Gestión: es la encargada de gestionar la administración del análisis de los datos como almacenamiento, análisis, procesamiento.
- Consulta: interactúa con el operario logrando que sean intuitiva y amigable con los usuarios.

### 2.2.10. Cultivo de Rosas

Una de las actividades económicas que tiene un gran porcentaje de crecimiento y aceptación dentro de la agricultura es la floricultura, haciendo uso de distintos parámetros específicos dentro de su cuidado para la producción de mediana y gran escala. Hay que tener en cuenta que existen varios tipos de enfermedades que pueden reducir la producción y dañar el cultivo. Para ello se debe generar planes de control en los cuales, se realicen controles periódicos de humedad, temperatura, nutrición de suelo, limpieza de camas, etc. [Webster, 2005]

Hoy en día para el Ecuador, la floricultura es una de las principales fuentes de ingresos económicos con un gran porcentaje de aceptación y crecimiento, que a lo largo de los años se ha encaminado a la gran producción y exportación, cumpliendo con los parámetros básicos que actualmente las flores que se producen en el país son muy conocidas a nivel nacional e internacional por su color, aroma, tamaño, calidad y su belleza. [Sánchez and Calvache, 2002]

### 2.2.11. Invernaderos Inteligentes

Los invernaderos no son más que estructuras que tiene una finalidad de cuidar la plantación de enfermedades en sus diversas etapas, los invernaderos inteligentes están compuestos por medios mecánicos, eléctricos, electrónicos, sistemas de control, sistemas de ventilación, riego, que son adaptados a la estructura metálica, mixta o de madera que en conjunto se combinan y logran controlar el estado climático dentro del invernadero, logrado de esta manera optimizar recursos, aumentar la producción. [Rode et al., 2010]

### 2.2.12. Condiciones para cultivo de rosas

Para obtener un sistema óptimo dentro de la producción y mejoramiento de rosas, se debe tener en cuenta que necesariamente se tiene algunos aspectos importantes que se tomarán en cuenta al momento de mejorar el sistema implantado.

- Humedad

Dentro del invernadero y por condiciones climatológicas para un rosal varía entre un 60 y 80 %. hay que recalcar que si se tiene una baja o alta humedad puede generar la proliferación de enfermedades.

- Temperatura

El rango de temperatura óptimo para el crecimiento de la planta dentro del invernadero, se encuentra entre 17°C y 25°C, la temperatura mínima debe ser 14°C en horas de la noche, llegando durante el día a una temperatura máxima de 28°C.

- Ventilación

La ventilación en un invernadero es muy importante ya que se debe realizar el intercambio de aire del interior del sistema por un aire fresco, también en este intercambio se liberan niveles de dióxido de carbono los cuales hacen que las plantas no crezcan como mayor facilidad, para los sistemas de ventilación existen ventanas, puertas, techos los cuales se abren y permiten el ingreso de aire, en los espacios de ventilación se colocan mallas las cuales impiden que ingresen insectos o animales pequeños.

- Radiación solar.

En la actualidad el sistema de climatización es afectado por la constante variación en el clima en diferentes escenarios ambientales, debido que existen fenómenos meteorológicos, por lo tanto, la temperatura dentro del invernadero dependerá netamente de la variación de la radiación solar que se haya generado en el día, es decir, la planta estará expuesta a un punto de saturación de 20,00 luxes a 35,000 luxes, esta rango se dará siempre y cuando este expuesto de forma directa. Por lo general dentro de una cubierta o invernadero se debe tener en cuenta que las plantas al estar juntas se genera una sombra y el punto de saturación estará alrededor del 100,000 luxes.

- Propiedades del Suelo

El suelo debe ser rico en nutrientes para garantizar la producción de la plantación como: humedad, materia orgánica disuelta, oxigenación, pH, sales solubles, minerales.

En la Tabla 2.1, se expone de manera general la cantidad de fertilizantes por cama de plantación de un cultivo.

Tabla 2.1: Fertilización por cama en una plantación

| <b>Cantidad</b> | <b>Sustancia</b>          |
|-----------------|---------------------------|
| 60 Kg           | Cal dolomita/cama         |
| 5Kg             | Superfostfato triple/cama |
| 2 Kg            | 15-15-15/cama             |
| 1 Kg            | Agrícola/cama             |

## Capítulo 3

# Marco Metodológico

En este apartado, se expone la metodología utilizada, procedimiento de programación, diseño y construcción del proyecto, mediante el uso adecuado tanto de elementos electrónicos, Plataforma en línea, llevando presente la adquisición de datos para ser procesados y evaluados.

De similar manera, se indica los datos estimados para determinar de una manera eficiente dentro del mejoramiento del sistema a implementarse mediante la utilización de Machine Learning basado en un algoritmo de regresión lineal.

Finalmente, se utiliza la plataforma [thethings.io](https://thethings.io) donde se puede interactuar y observar las variables climáticas; humedad del ambiente, temperatura y humedad del suelo dentro del invernadero, también en la plataforma se puede visualizar el MAE (Error absoluto medio) de las 3 variables mencionadas.

### 3.1. Materiales a utilizar

Tabla 3.1: Descripción de tarjetas Raspberry

| Descripción  | RPi 3B      | RPi 3B+          | RPi 4B           |
|--------------|-------------|------------------|------------------|
| Procesador   | BCM2837     | BCM2837B0        | BCM2711B0        |
| GPU          | 400 Mhz     | 400 Mhz          | 500 Mhz          |
| RAM          | 1GB         | 1GB              | 1GB/2GB/4GB      |
| USB          | 2.0         | 2.0              | 2.0 y 4.0        |
| Memoria      | Micro-SD    | Micro-SD         | Micro-SD         |
| Wireless     | 2.4[GHz]    | 2.4y 5.0 [GHz]   | 2.4y 5.0 [GHz]   |
| Ethernet     | Ethernet    | Gigabit Ethernet | Gigabit Ethernet |
| Alimentación | 5[V],2.5[A] | 5[V],2.5[A]      | 5[V],3[A]        |
| GPIO         | 40 Pines    | 40 Pines         | 40 Pines         |
| Dimensiones  | 85x56x17mm  | 85x56x17mm       | 88x58x19mm       |

#### 3.1.1. Raspberry Pi 4 Model B

En la Tabla 3.1 luego de haber realizado el análisis de 3 diferentes modelos de tarjetas Raspberry, se escoge trabajar con Rpi 4B. Para el procesamiento de datos y predicciones se necesita mas que una simple tarjeta que funcione como mini ordenador, es por ello que por sus características, por tener un núcleo mas robusto, poseer una conexión Ethernet directamente y 2 puertos 3.0, a través de los cuales nos conectamos directamente al arduino (Conexión serial/USB), las librerías para trabajo están también mucho mejor desarrolladas y sobre todo por su memoria RAM de 4GB y para tratar de minimizar lo máximo el retardo se elige trabajar con Raspberry pi 4B, como se



Figura 3.1: Raspberry Pi 4 Model B

#### 3.1.2. Arduino Uno

Esta plataforma es totalmente libre, está constituida con el microcontrolador ATME1, existen variedad de Arduinos entre los más conocidos están: Arduino Uno, Mega, Leonardo,



etc, como se verifican en la Tabla 3.2. Para el desarrollo del proyecto, se elige utilizar Arduino Uno, el numero de salidas que posee son las adecuadas, se enlaza a la perfección con Raspberry pi 4B, el voltaje de operación, memoria y sobre todo un menor costo de adquisición.

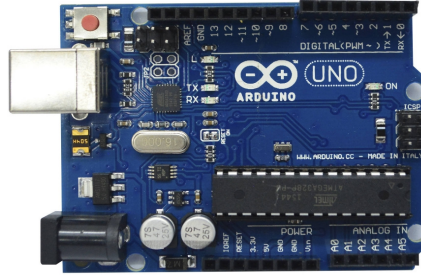


Figura 3.2: Arduino Uno

Tabla 3.2: Arduino Uno, Leonardo y Mega 2560

| Parámetro              | UNO       | LEONARDO   | MEGA 2560  |
|------------------------|-----------|------------|------------|
| Microcontrolador       | ATmega328 | ATmega32u4 | ATmega2560 |
| Velocidad de reloj     | 16 [Mhz]  | 16 [Mhz]   | 16 [Mhz]   |
| Operación              | 5[V]      | 5[V]       | 5[V]       |
| Pines digitales de E/S | 14        | 20         | 54         |
| Entradas analógicas    | 6         | 12         | 16         |
| Memoria (Flash)        | 32[Kb]    | 32[Kb]     | 256[Kb]    |
| Memoria (SRAM)         | 2[Kb]     | 2.5 [Kb]   | 8 [Kb]     |
| Memoria (EEPROM)       | 1[Kb]     | 1[Kb]      | 4[Kb]      |

### 3.1.3. Sensores de Temperatura

Tabla 3.3: Sensores LM35, DHT11 y DHT22

| Parámetro                 | LM35           | DHT11     | DHT22         |
|---------------------------|----------------|-----------|---------------|
| Operación                 | 4-30[V]        | 3-5[V]    | 3.3-6[V]      |
| Salida                    | Analógica      | Digital   | Digital       |
| Temperatura               | De -55 a 150°C | De 0-50°C | De -40 a 80°C |
| Precisión en temperatura  | +/-0.5°C       | +/-2°C    | <+/-0.5°C     |
| Resolución en temperatura | 10mV/°C        | 0.1°C     | 0.1°C         |
| Tiempo de sensado         | -              | 1s        | 2s            |

Luego de haber realizado el análisis de 3 diferentes modelos de sensores en la Tabla 3.3. Se elige trabajar con el sensor DHT22. Como se observa en la Figura 3.3, porque posee rangos de medida mas amplios, mayor resolución, y sobre todo mayor precisión en las mediciones.



Figura 3.3: Sensor DHT22

#### 3.1.4. Sensor FC-28

Mediante la utilización del FC-28, se obtiene la humedad del suelo en un porcentaje, según [Vieda et al., 2017], este sensor entrega valores analógicos o salida digital, hay que tener cuenta que el valor concreto dependerá notablemente de los dos factores: tipo de suelo y composición química como fertilizantes.

Todas las plantas no tienen la misma humedad, por lo tanto, adquiere y compara los valores para accionar el sistema, este dispositivo electrónico presenta las siguientes especificaciones. 3.4

- Módulo sensor
- Placa de control.
- Cables macho y hembra

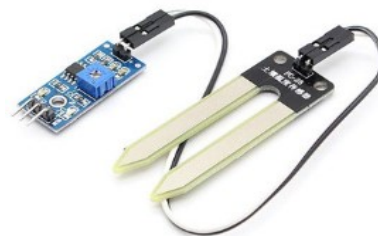


Figura 3.4: FC-28.

Tabla 3.4: Especificaciones técnicas FC-28 y DHT11

| Parámetros      | FC-28            | DHT11         |
|-----------------|------------------|---------------|
| Operación       | 3.3 -5[V] DC     | 3-5[V] DC     |
| Humedad - Rango | 0 - 1023         | 20 % a 90 %RH |
| Precisión       | Umbral regulable | 4 %RH         |

### 3.1.5. Válvula Solenoide Jinsheng

Una vez realizado el análisis de 2 diferentes modelos de válvulas solenoides en la Tabla 3.5, se opta por trabajar con la válvula Jinsheng, la misma que cumple con los requerimientos; permite controlar el flujo de líquidos o gases, se encuentra normalmente cerrada, es accionada eléctricamente al aplicar un voltaje de 12[V], en los 2 terminales se abre y automáticamente permite el paso del agua, fluye en un solo sentido, su vida útil de trabajo es amplia, posee 2 roscas externas; una para la entrada y otra para la salida de 1/2 pulgada de diámetro.



Figura 3.5: Válvula Solenoide

Tabla 3.5: Válvulas Jinsheng y Smart Solu

| Parámetros                    | Jinsheng                | Smart Solu 2P025-08 |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Presión de funcionamiento     | 0.02 MPa - 0.8 MPa      | 8 Bar               |
| Temperatura de funcionamiento | -5°C - 75°C             | 1°C - 80°C          |
| Tiempo de respuesta (abrir)   | ≤ 0,15s                 | ≤ 0,25s             |
| Tiempo de respuesta (cerrar)  | ≤ 0.3s                  | ≤ 0,5s              |
| Voltaje de accionamiento      | 12V                     | 24V                 |
| Vida útil                     | ≥ 50 millones de ciclos | -                   |

### 3.1.6. Ventilador Wathai 20060

Una vez realizado el análisis de 3 diferentes modelos de ventiladores como se puede observar en la Tabla 3.6, se opta por trabajar con el ventilador Wathai 20060, posee un flujo de aire de 300 CFM (pies cúbicos por minuto), es mas que suficiente para disminuir la temperatura en este prototipo de invernadero de tamaño reducido, sus dimensiones son las adecuadas, su costo es accesible, posee una amplia vida útil; 67000 horas de trabajo, su voltaje de operación es de 110 V, lo cual, lo hace ideal para trabajar en nuestro prototipo.



Figura 3.6: Ventilador Wathai 20060

Tabla 3.6: Características de los ventiladores

| Parámetros             | Dayton Wt45 | SJ1238HA3 | Wathai 20060 |
|------------------------|-------------|-----------|--------------|
| Voltaje                | 220[V]      | 380[V]    | 110[V]       |
| Potencia               | 30[W]       | 2[W]      | 70[W]        |
| Flujo de aire          | -           | 180CFM    | 370CFM       |
| Velocidad              | 1600 RPM    | 5500 RPM  | 2400 RPM     |
| Temperatura de trabajo | -5 - 50°C   | -         | -25 - 60°C   |
| Vida util              | -           | -         | 67000 Horas  |

### 3.1.7. Plataformas IoT

En la actualidad existe gran variedad de plataformas IoT, que prestan distintas características dentro de estructura, facilidad de adquisición, condiciones operativas y compatibilidad. Entre las mas utilizadas se encuentran:

- Thingier.io

Thingier.io no es más que una plataforma que corresponde al internet de las cosas haciendo siempre icono a la interacción entre la conexión o interconexión digital de cualquier clase de objetos con internet. Esta plataforma es utilizada dentro de la industria 4.0 siendo una de las plataformas sencillas, integrándose con una infraestructura robusta y amigable.

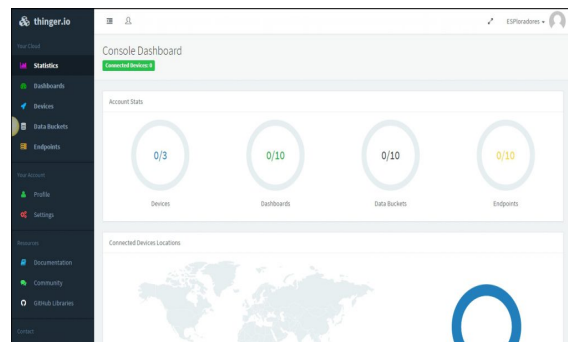


Figura 3.7: Plataforma Thingier.io.

- Thingspeak

Es una aplicación que permite al usuario tener un almacenamiento y recopilación de datos mediante el protocolo http, cuando se este conectado a una red de área local, también se puede utilizar con Matlab.

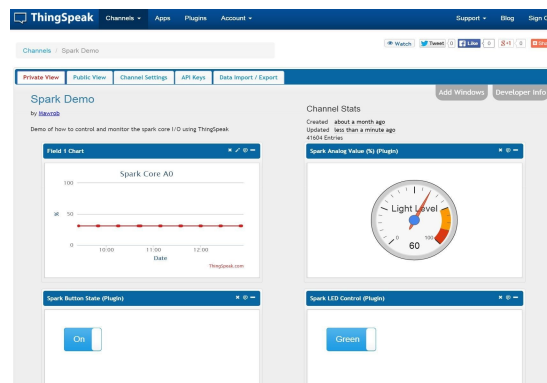


Figura 3.8: Plataforma Thingspeak.

- Thethings.io

Esta plataforma permite conectarse de una manera más rápida y eficiente esto se logra gracias sus facilidades en su API, por lo tanto, está plataforma se integra a todo dispositivo de hardware siendo amigable y flexible en su enfoque futurista de hardware agnostic(Independiente del dispositivo).



Figura 3.9: Plataforma thethings.iO.

- NodeRed

Este tipo de herramienta tiene como principal característica su robustez, ya que no es necesario tener algún conocimiento de programación, siendo fácil para un aprendizaje intuitivo, logrando de esta manera transformar las variables obtenidas en tiempo real. En el entorno se conectan las celdas mediante bloques para enfocar un desarrollo correcto entre nodos.

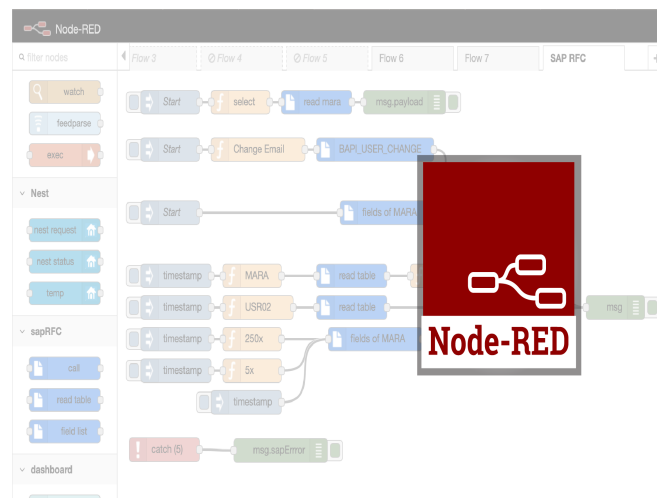


Figura 3.10: Plataforma Node-Red.

- Blynk

Esta es una plataforma que se utiliza para Android y iOS, donde se podrá desarrollar un entorno gráfico, logra conectar un sin número de dispositivos a la nube, además se puede controlar y supervisar de manera remota.

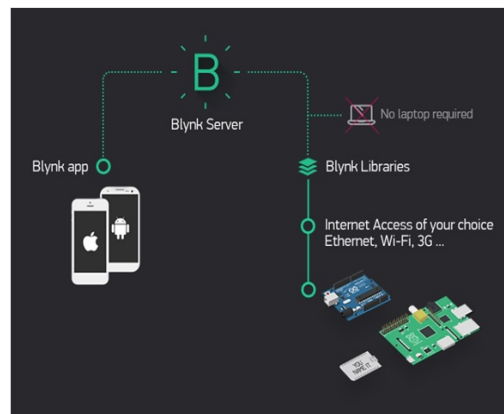


Figura 3.11: Plataforma Blynk.

### 3.1.8. Tipos de Invernaderos

Los últimos años los invernaderos modernos se han desarrollado de manera gradual logrando transformar la agricultura en diversas regiones del planeta, una de sus principales fortalezas es el aumento de producción, la reducción y control de enfermedades que dañaban las plantaciones, además se puede incorporar varios esquemas en su estructura. de esta forma se logra y se permite ser eficiente y productivo al mismo tiempo.

- Túnel



Figura 3.12: Túnel

Fuente[Gomez Garcia and Quichimbo Ortiz, 2019]

- Capilla

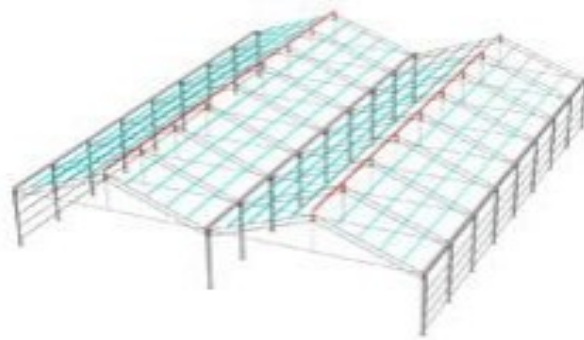


Figura 3.13: Capilla (a dos aguas).  
Fuente[Gomez Garcia and Quichimbo Ortiz, 2019]

- Diente de Sierra

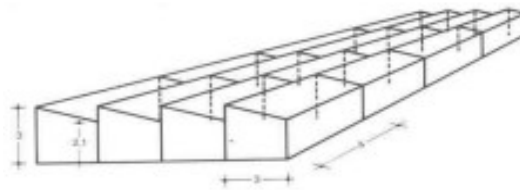


Figura 3.14: Diente de Sierra.  
Fuente[Gomez Garcia and Quichimbo Ortiz, 2019]

- Techo Curva



Figura 3.15: Techo Curva.  
Fuente[Gomez Garcia and Quichimbo Ortiz, 2019]



- Multicapilla

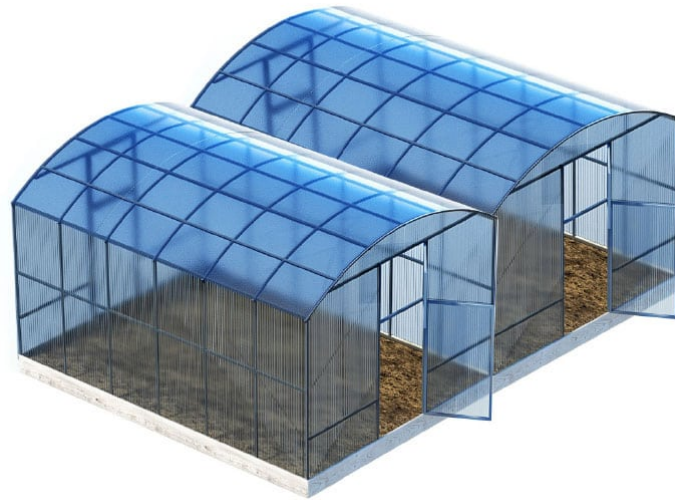


Figura 3.16: Multicapilla.

Fuente[Gomez Garcia and Quichimbo Ortiz, 2019]

### 3.1.9. Métodos de selección

En el siguiente apartado se realizará la selección del método o la mejor prestación de hardware y software para cubrir las necesidades del proyecto, estas necesidades vienen enfocadas de acuerdo a la región, el tipo de clima, el suelo y sobre todo el tipo de producto que se va a plantar dentro del invernadero, según esas necesidades y al ser una plantación de rosas y al encontrarse en la región central del Ecuador con un clima entre templado y frío es que se seleccionaron estos 5 tipos de invernadero para su estudio.

Para la selección se tomará en cuenta de acuerdo a cuatro parámetros:

80-100 % = Muy Alto

70-79 % = Alto

45-69 % = Medio

30-44 % = Bajo

Tabla 3.7: Criterio de selección Tipos de invernaderos

| <b>Tipos</b>                | <b>Diente Sierra</b> | <b>Capilla</b> | <b>Tunel</b> | <b>TechoCurva</b> | <b>Multicapilla</b> |
|-----------------------------|----------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|
| Buena Ventilación           | 80 %                 | 85 %           | 90 %         | 79 %              | 80 %                |
| Estanqueidad de lluvia      | 75 %                 | 79 %           | 85 %         | 75 %              | 85 %                |
| Estanqueidad de aire        | 70 %                 | 80 %           | 80 %         | 70 %              | 80 %                |
| Ventilación cenital/lateral | 70 %                 | 70 %           | 100 %        | 75 %              | 95 %                |
| Reparto de luminosidad      | 75 %                 | 80 %           | 95 %         | 79 %              | 95 %                |
| Fácil instalación           | 80 %                 | 85 %           | 100 %        | 70 %              | 90 %                |
| Clima templado/frío         | 70 %                 | 70 %           | 100 %        | 75 %              | 95 %                |
| Estructura Libiana          | 80 %                 | 85 %           | 100 %        | 78 %              | 90 %                |
| Obstáculos en estructura    | 45 %                 | 50 %           | 20 %         | 45 %              | 35 %                |

Hay que tener en cuenta que se tomo la mejor selección del tipo de invernadero a construir según la necesidad, economía, eficiencia en nivel de clima y ventilación, es por ello que se eligió trabajar bajo un invernadero tipo tunel.

### Selección de la plataforma

Dentro de la selección de la plataforma IoT se tomo en cuenta las características primordiales, almacenamiento, librerías, eficiencia, robustez y sobre todo que sea compatible con la programación python, por lo cual, se escogió trabajar con la plataforma thethings.iO.

Tabla 3.8: Criterio de selección plataformas IoT

| <b>Plataformas</b> | <b>Thinger.io</b> | <b>Thingspeak</b> | <b>Thethings.iO</b> | <b>NodeRed</b> | <b>Blynk</b> |
|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Almacenamiento     | 90 %              | 85 %              | 90 %                | 85 %           | 85 %         |
| Librerías          | 90 %              | 90 %              | 100 %               | 87 %           | 85 %         |
| Eficiencia         | 90 %              | 90 %              | 90 %                | 85 %           | 90 %         |
| Robustez           | 90 %              | 90 %              | 90 %                | 88 %           | 85 %         |
| Programación       | 100 %             | 95 %              | 100 %               | 95 %           | 87 %         |

## 3.2. Desarrollo

En el siguiente apartado se describe paso a paso el desarrollo y construcción del prototipo.

### 3.2.1. Diagrama y Esquema Implementado

En las Figuras 3.17 y 3.18, indica tanto el diagrama y el esquema de todos los componentes electrónicos utilizados y la comunicación con la nube, los sensores de temperatura DHT-22 y los sensores de humedad FC-28 se conectan en los puertos digitales del arduino, a la salida del mismo se encuentran los actuadores, El Arduino

Uno con Raspberry poseen una conexión bidireccional(serial/USB), Raspberry adquiere y envía información proveniente del arduino hacia la nube (Plataforma Thethings.iO).

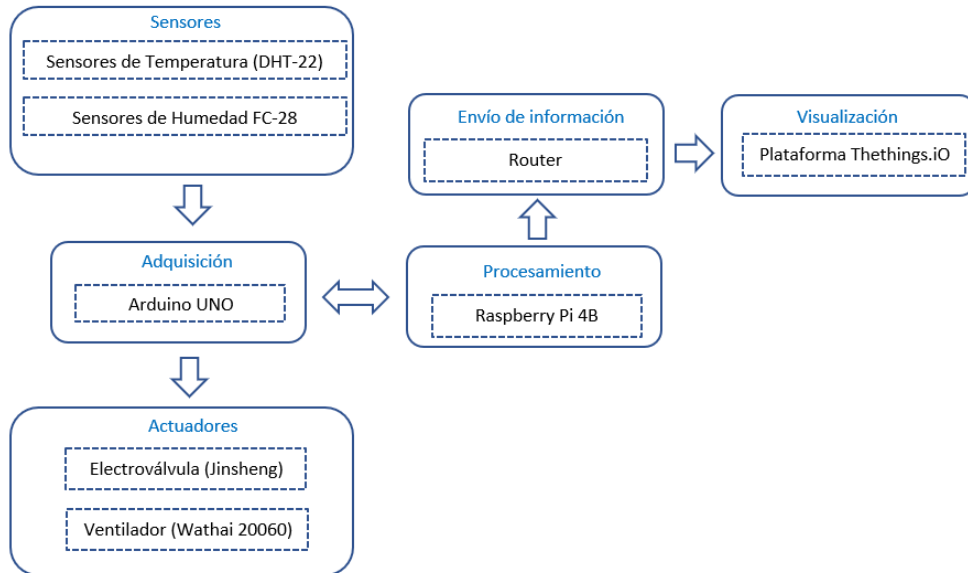


Figura 3.17: Diagrama

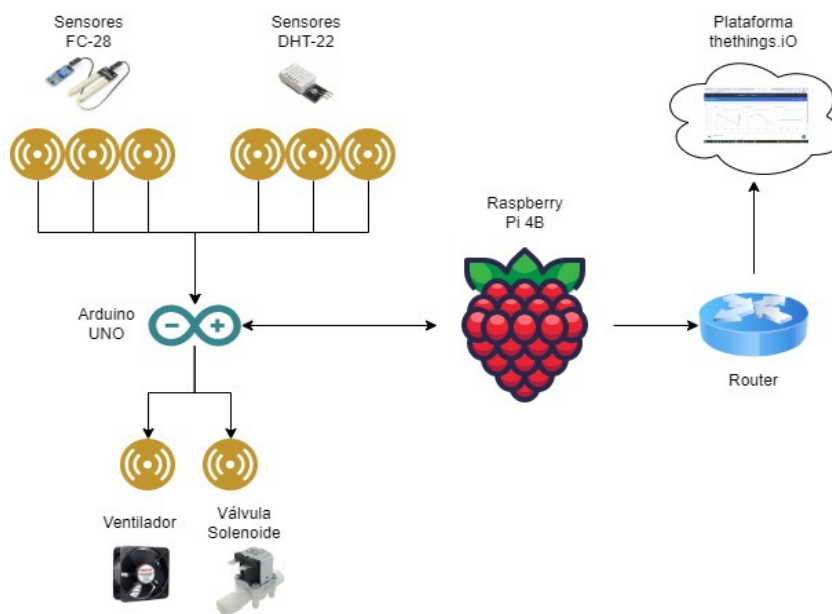
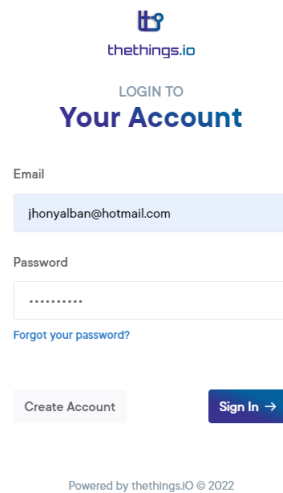


Figura 3.18: Esquema

### 3.2.2. Plataforma thethings.iO

En la Figura 3.19, se muestra que se debe crear una cuenta en la plataforma thethings.iO para acceder a sus servicios, cabe recalcar que esta plataforma es gratuita por un periodo de 15 días luego de este periodo de tiempo la cuenta expira, en esta plataforma se realiza el monitoreo de la información en tiempo real, esta trabaja en base de estructuras JSON, las cuales son estructuras de peticiones web, es decir, netamente se trabaja como una dirección web, la plataforma detecta que dirección se le esta enviando y empieza a recibir las estructuras de asignamiento de datos.



thethings.iO

LOGIN TO  
**Your Account**

Email  
jhonyalban@hotmail.com

Password  
.....

[Forgot your password?](#)

Create Account Sign In →

Powered by thethings.iO © 2022

Figura 3.19: Registro plataforma Thethings.iO.

La plataforma viene en un entorno blanco o demos por defecto, para desarrollar click en nuevos perfiles y selecciona una estructura JSON, ponga un nombre el cual sea identificativo o haga relación con el objeto que se va a censar luego click en guardar cambios para acceder al entorno (véase en la Figura 3.20.)

Figura 3.20: JSON - selección del perfil.

Finalmente click en guardar y se crea el perfil deseado, se genera toda la información que se desea visualizar.[3.21](#)

| Profile ID | Profile Name | Payload Format | Devices |
|------------|--------------|----------------|---------|
| 32705      | RX           | JSON           | 1       |

Figura 3.21: Selección del perfil.

Se trabaja bajo protocolos IoT para tener como referencia la activación de un objeto, que se observa en la [Figura 3.22](#).

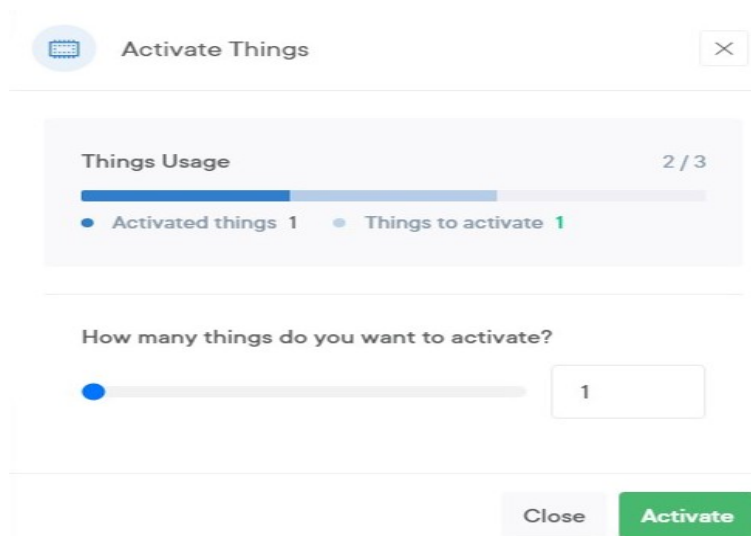


Figura 3.22: Activar Things.

Click en la pestaña para activar más dispositivos, luego crea el dispositivo things ID con su respectivo nombre que se ha seleccionado como se muestra en la figura 3.23. internamente se tiene la pestaña edición (Edition Things Name), click en detalles para abrir una ventana en la cual se visualiza el identificador y el Token 3.24, el Token generado se ingresa a la RPB4 para que logre enviar información a la nube, finalmente, cuando la RPB4 este enviando información en la parte inferior están los parámetros de telemetría los cuales se van creando las variables que se haya creado para la evaluación de un entorno como temperatura, humedad ambiente o humedad del suelo.

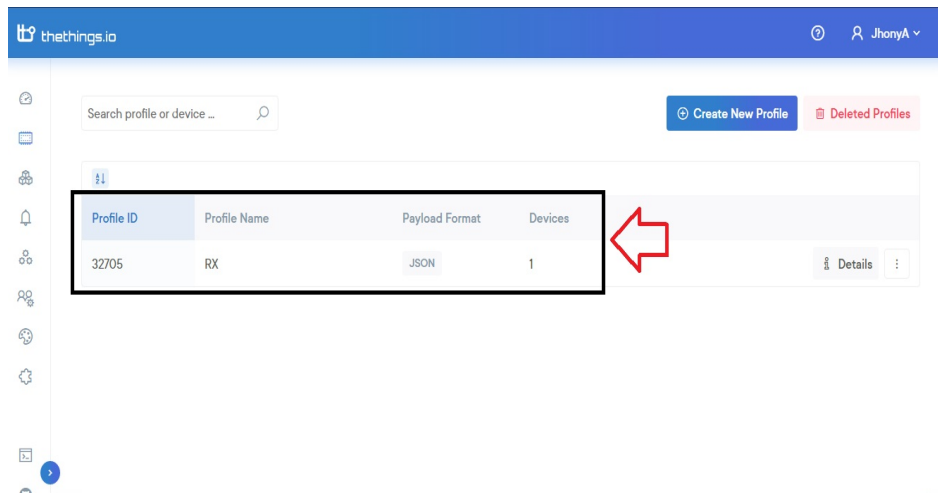


Figura 3.23: Identificación ID.

**Thing Details**

|       |   |
|-------|---|
| ID    | 3FxSwDVOS63z5lxU7CSHq4duLJZj2LsSBxJumdlvLs  |
| Token | MimYdu1uYXj7sQWPskD6aoEtrWsEBc6Okuy1U6Y_qNM |
| Tags  | <input type="button" value="ADD TAG"/>      |

#### Thing telemetry

Figura 3.24: Identificador ID y Token.

Para editar el panel, click en Edit Dashboard aquí se puede editar el entorno, por lo tanto, se pone un nombre como temperatura, luego se escoge la fuente de donde se recoge la información un recurso de things, se ubica el perfil RX para luego dentro del Things se selecciona el Receptor, automáticamente se despliega las variables a ser visualizadas [3.25](#).


**Add Widget**

**Basic Configuration** Custom Parameters

**Widget Name**

---

**Data Source**

 Use data from devices to create widgets, select widgets from a wide variety from historical to last value range.

---

**Device Profile**

Figura 3.25: Editor panel.

En la parte inferior de la ventana se puede ver los históricos y más datos como

unidad, símbolos. Finalmente, click en tiempo real y luego en Ok, automáticamente se genera la ventana de visualización 3.26.

temperatura valor

# 16.5

Figura 3.26: Visualizador del panel.

Se puede evidenciar en la Figura 3.27, el resultado final de la plataforma en estudio, sirve para mostrar los datos en tiempo real al igual que una información detallada de como se genera mediante una gráfica el resultado de las condiciones ambientales dentro del invernadero; temperatura, humedad de ambiente y humedad del suelo, filtradas por fecha y rangos de operación previamente definidos.



Figura 3.27: Plataforma y datos evaluados.

### 3.2.3. Sistema embebido

A continuación se detalla la comunicación entre los dispositivos encargados de adquirir, procesar la información y generar la predicción mas acertada a futuro.

- **Arduino Uno.-** Este se conecta a la Raspberry pi 4B mediante el puerto USB



(conexión serial/USB), netamente recolecta la información, el trabajo dentro del arduino es ir siempre verificando la información que envían los sensores y cada 60 segundos verificar si existe alguna conexión con la Raspberry. Al estar el Arduino detectando la variación de los sensores empieza a enviar información hacia Raspberry en tiempo real, información del terreno, entonces internamente lo que hace Raspberry es leer la comunicación USB serial, con el objetivo de ir obteniendo esta información, desentramando y guardando dentro de un archivo de texto.

- **Raspberry Pi 4B.**- Esta tarjeta es el núcleo, el cerebro de toda la operación, se encarga del procesamiento, ejecución de procesos temporizados, recolección de información y sobre todo realiza el vínculo con la nube (Plataforma thethings.io).

Raspberry pi 4B internamente posee scripts o algoritmos que se encargan de hacer cosas en específico, una de las funciones que tiene es la parte de adquirir y enviar datos provenientes del Arduino. (Existe un código internamente que lo que hace, es estar pendiente de la comunicación serial USB), se adquiere esa información mediante un archivo de texto de tipo plano, luego de enviar y recibir datos del y hacia el Arduino también los envía a la nube para la monitorización en tiempo real.

- **Vínculo Entre Arduino Uno Y Raspberry Pi 4B.**- El vínculo entre estos 2 solo puede ser uno, es decir, si se quiere que lea y reciba se tiene que mantener un solo archivo, el principal, por lo tanto, en el archivo de adquisición y envío de datos del Arduino se ha tenido que embeber ambas funcionalidades dentro del mismo archivo csv, para así trabajar sobre un bucle cerrado en base a las proyecciones.

#### 3.2.4. Modelo - Machine Learning

Para el desarrollo del modelo en la nube es necesario tener una comunicación en tiempo real mediante una combinación de los dispositivos electrónicos y la plataforma thethings.io, por lo cual, el control y monitorización se realiza mediante un algoritmo de regresión lineal.

Por lo tanto, es necesario tener todos los dispositivos dentro de la misma red, también se debe conocer la IP, principalmente de la raspberry luego, mediante Putty acceder al entorno de consola (véase la Figura 3.28.)

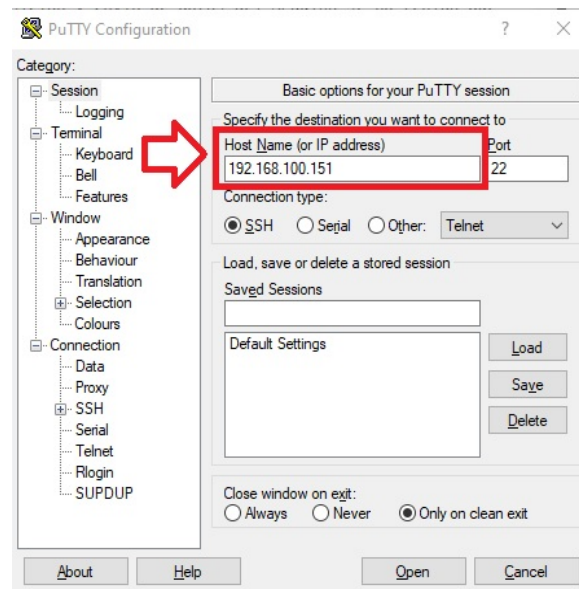


Figura 3.28: Ventana de acceso

### 3.2.5. Programación

#### ■ Rx.py (Receptor-Transmisor)

```

1 # Importacion de librerias
2 import serial
3 import ttrest
4 import subprocess
5 import pandas as pd
6 # Apertura de la conexion serial
7 ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0')
8 # Definicion de variables
9 humedad = 0.0
10 temperatura = 0.0
11 humedadS = 0.0
12 # Valor de SetPoints
13 setPointH = 70
14 setPointT = 29
15 setPointHS = 70
16 # Archivo donde se carga la informacion de datos
17 f = open("/home/pi/algoritmos/val.csv", "a")
18 #variable de tiempo
19 t = datetime.now()
20 while 1: # bucle infinito
21     # Obtener la informacion del arduino
22     sensor=str(ser.readline())
23     datain=sensor.split('S')
24     humedad = datain[1]
25     temperatura = datain[2]
26     humedadS = datain[3]

```

```

27     # Obtener hora y fecha
28     now = datetime.now()
29     fe_string = now.strftime("%d/%m/%Y")
30     hr_string = now.strftime("%H:%M:%S")
31     # Crear cadena para almacenamiento
32     cadena = fe_string+","+hr_string+","+str(humedad)+
33     ","+str(temperatura)+","+str(humedadS)+"\n"
34     # Escritura de la cadena
35     print(cadena)
36     f.write(cadena)
37     f.flush()
38     # Envio informacion hacia la nube
39     ttrest.ttwrite('Humedad',str(humedad))
40     ttrest.ttwrite('Temperatura',str(temperatura))
41     ttrest.ttwrite('HSuelo',str(humedadS))
42     # Tiempo entre activaciones
43     delta = datetime.now()-t
44     if delta.seconds >= 60:
45         print("SE HA REGISTRADO UN MINUTO")
46         #actualizamos la variable T para un nuevo comienzo
47         pred = pd.read_csv("/home/pi/algoritmos
48         /pronosticoLinealT.csv", sep = ',')
49         proyeccion = float(pred.tail(1).pronostico_t)
50         if proyeccion > setPointT:
51             print("muy alto")
52             ser.write("1\r\n".encode())
53         elif proyeccion == setPointT:
54             print("igual")
55         elif proyeccion < setPointT:
56             print("muy bajo")
57             ser.write("2\r\n".encode())
58
59         #actualizamos la variable H para un nuevo comienzo
60         pred = pd.read_csv("/home/pi/algoritmos
61         /pronosticoLinealH.csv", sep = ',')
62         proyeccion = float(pred.tail(1).pronostico_h)
63         if proyeccion > setPointH:
64             print("muy alto")
65             ser.write("4\r\n".encode())
66         elif proyeccion == setPointH:
67             print("igual")
68         elif proyeccion < setPointH:
69             print("muy bajo")
70             ser.write("3\r\n".encode())
71
72         #actualizamos la variable HS para un nuevo comienzo
73         pred = pd.read_csv("/home/pi/algoritmos
74         /pronosticoLinealHs.csv", sep = ',')
75         proyeccion = float(pred.tail(1).pronostico_hs)
76         if proyeccion > setPointHS:
77             print("muy alto")
78             ser.write("3\r\n".encode())
79         elif proyeccion == setPointHS:

```

```

80         print("igual")
81     elif proyeccion < setPointHS:
82         print("muy bajo")
83         ser.write("4\r\n".encode())
84
85     t = datetime.now()
86
87 f.close()

```

Listing 3.1: Programación Rx

### ■ Algoritmo de Predicción

```

1 # Importacion de variables
2 import datetime
3 import ttrest
4 import subprocess
5 # variable de tiempo, temporizaciones
6 t = datetime.datetime.now()
7
8 def predecir(variable):
9     print("variable a procesar")
10    print(variable)
11    #cargar la informacion del archivo plano pc
12    data = pd.read_csv("/home/pi/algoritmos/val.csv", sep = ',')
13
14    data.shape
15    data.columns
16
17    data['date_time'] = data['fecha'] + ' ' + data['hora']
18    data['fecha'] = pd.to_datetime(data['fecha'])
19    #'tem' #variable a utilizar para la prediccion
20    target = variable
21    Y = data[target]
22    X = data[['date_time']]
23    y_pred = [y_train.mean()] * len(y_train)
24
25    meanError = round(mean_absolute_error(y_train,y_pred),5)
26    ttrest.ttwrite(variable, str(meanError))
27
28    #implementamos regresion lineal
29    lm = make_pipeline(
30        StandardScaler(),
31        LinearRegression(),
32    )
33    #cargamos informacion de entrenamiento pc
34    lm.fit(x_train, y_train)
35
36
37    #cadena a futuro
38    ultimo = data["date_time"].iloc[-1]
39
40    #print("ultimo registro: ",ultimo)
41

```

```

42     futuro1 = ultimo + datetime.timedelta(minutes=10)
43     futuro2 = ultimo + datetime.timedelta(minutes=20)
44
45     fut = {'date_time': [futuro1,futuro2]}
46     x_futura = pd.DataFrame(data=fut)
47     x_futura['date_time'] = pd.to_datetime(x_futura['date_time'])
48
49     #realizamos predicciones
50     y_prede = lm.predict(x_val)
51     y_futura = lm.predict(x_futura)
52     return x_futura, y_futura
53
54 while 1:
55     #tiempo entre activaciones
56     delta = datetime.datetime.now()-t
57     if delta.seconds >= 409:
58         ##### tiempo original 409
59         resultado = predecir('tem')
60         x_futura_t = resultado[0]
61         y_futura_t = resultado[1]
62
63         resultado = predecir('hum')
64         x_futura_h = resultado[0]
65         y_futura_h = resultado[1]
66
67         resultado = predecir('hums')
68         x_futura_hs = resultado[0]
69         y_futura_hs = resultado[1]
70         #####
71
72         print("EN EL FUTURO: ",x_futura_t)
73         print("EL VALOR ES: ",y_futura_t)
74
75         print("EN EL FUTURO: ",x_futura_h)
76         print("EL VALOR ES: ",y_futura_h)
77
78         print("EN EL FUTURO: ",x_futura_hs)
79         print("EL VALOR ES: ",y_futura_hs)
80
81         prediccion = pd.DataFrame(y_futura_t)
82         prediccion.columns = ['pronostico_t']
83         prediccion.to_csv('/home/pi/algoritmos
84         /pronosticoLinealT.csv')
85
86         prediccion = pd.DataFrame(y_futura_h)
87         prediccion.columns = ['pronostico_h']
88         prediccion.to_csv('/home/pi/algoritmos
89         /pronosticoLinealH.csv')
90
91         prediccion = pd.DataFrame(y_futura_hs)
92         prediccion.columns = ['pronostico_hs']
93         prediccion.to_csv('/home/pi/algoritmos
94         /pronosticoLinealHs.csv')

```

```

95
96         f = open("/home/pi/algoritmos/ejecucion.txt", "a")
97         f.write(ahora)
98         f.write(" \n")
99         f.close()
100        t = datetime.datetime.now()

```

Listing 3.2: Predicción Lineal

### ■ Envío de información hacia thethings.iO

```

1 # Importar libreria
2 import requests
3 #plataforma hacia donde se realiza la consulta
4 urlroot='https://api.thethings.io/v2/things/'
5
6 token='nIYqWDm1nX_kUaWJw_590Fv6zutPVUBXsQuzn7-iCbQ'
7 header={'Accept': 'application/json', 'Content-Type':
8 'application/json'}
9 url=urlroot+token
10 # Objeto
11 def ttwrite(var, value):
12     data='{"values":[{"key": "' + var + "',"value": "' + value + '"}]}'

```

Listing 3.3: Envío de información ttrest

### ■ Control de actuadores (ARDUINO)

```

1 //Importacion de librerias y definicion pines
2 #include "DHT.h"
3 #define DHTPIN1 2
4 #define DHTTYPE1 DHT22
5 #define DHTPIN2 3
6 #define DHTTYPE2 DHT22
7 #define DHTPIN3 4
8 #define DHTTYPE3 DHT22
9
10 //controles recepcion de datos
11 String datosTX = "";
12 String datosRX = "";
13 int estados;
14
15 int periodo = 30000;
16 unsigned long tiempo;
17 //Salidas, pines 8y9
18 int salida1 = 8;
19 int salida2 = 9;
20 int falso;
21 //Inicio lectura de los sensores
22 void setup()
23 {
24     Serial.begin(9600);
25     dht1.begin();
26     dht2.begin();

```

```
27  dht3.begin();
28  //Comportamiento de las salidas
29  pinMode(salida1,OUTPUT);
30  pinMode(salida2,OUTPUT);
31  digitalWrite(salida1,LOW);
32  digitalWrite(salida2,LOW);
33  }
34
35  void loop()
36  {
37    tiempo = millis();
38    while(millis() < tiempo+periodo)
39    {
40      if(Serial.available( ) > 0)
41      {
42        datosRX = Serial.readString();
43        estados = datosRX.toInt();
44      }
45
46      if(estados == 1)
47        digitalWrite(8,HIGH);
48      else if(estados == 2)
49        digitalWrite(8,LOW);
50      else if(estados == 3)
51        digitalWrite(9,HIGH);
52      else if(estados == 4)
53        digitalWrite(9,LOW);
54
55      datosRX="";
56    }
57
58    float h = (dht1.readHumidity()+dht2.readHumidity()+
59+dht3.readHumidity())*0.33;
60    float t = (dht1.readTemperature()+dht2.readTemperature()+
61+dht3.readTemperature())*0.33;
62
63    int hs = (analogRead(s_suelo1)+analogRead(s_suelo2)
64+analogRead(s_suelo3))*0.33;
65
66    if (isnan(h) || isnan(t))
67    {
68      h= 0;
69      t= 0;
70      hs=0;
71    }
72  }
73
74  datosTX = "S" + (String)h + "S" + (String)t + "S"
75  + (String)hs + "S";
76 }
```

Listing 3.4: Programación actuadores en arduino

### 3.2.6. Placa de control

Para conectar los distintos elementos electrónicos, se utiliza una placa, la misma que esta diseñada en el software Proteus, (véase la Figura 3.29)

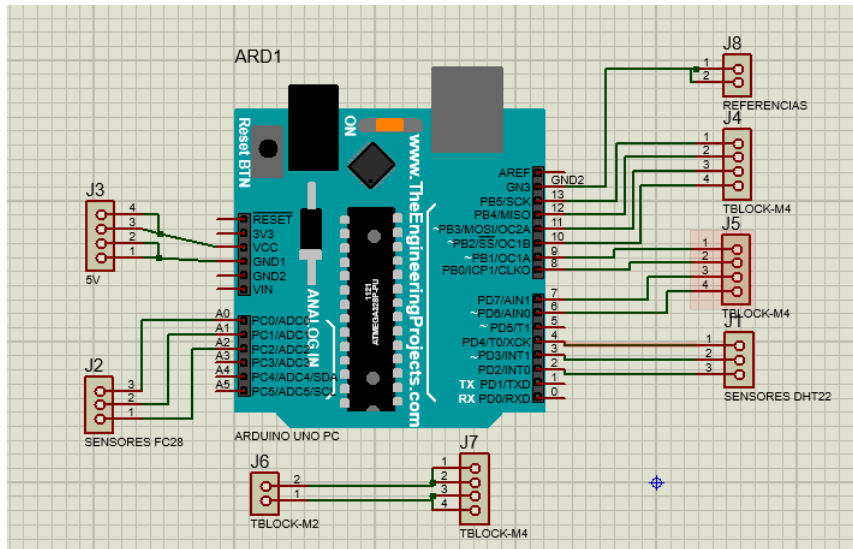


Figura 3.29: Placa de control

En la Figura 3.30, se visualiza, el diseño en PCB Layout y la placa en baquelita soldada sus elementos.

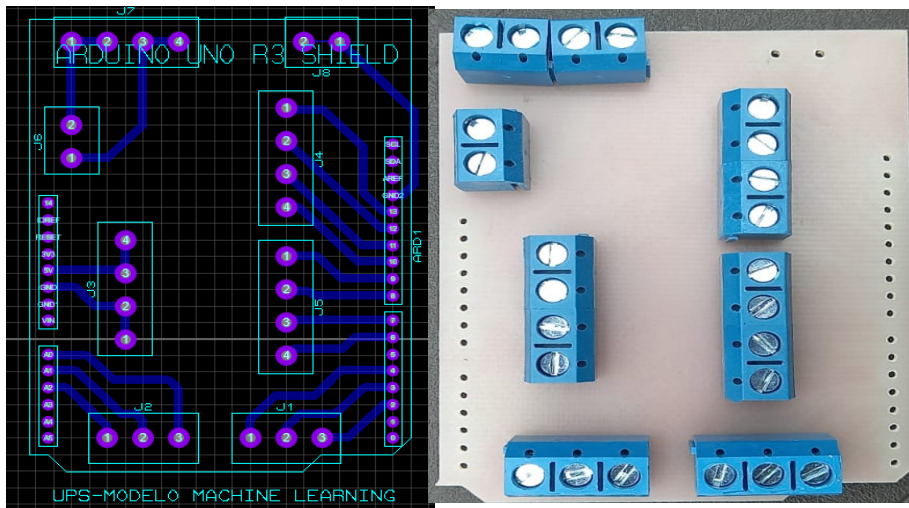


Figura 3.30: PCB Layout, diseño en baquelita



### 3.2.7. Construcción del prototipo

En el diseño esquemático del prototipo, se empleó el software SketchUp 2020, mediante este se logró insertar las medidas de forma exacta y obtener el modelado de las imágenes en 3 dimensiones, las dimensiones del invernadero son; anchura de 1.50 metros por 2.0 metros de largo, con una altura desde su base de 2.14 metros, que se observa en la Figura.3.31.



Figura 3.31: Diseño del prototipo(Perspectiva).

En la Figura 3.32, se puede observar la vista frontal del prototipo.

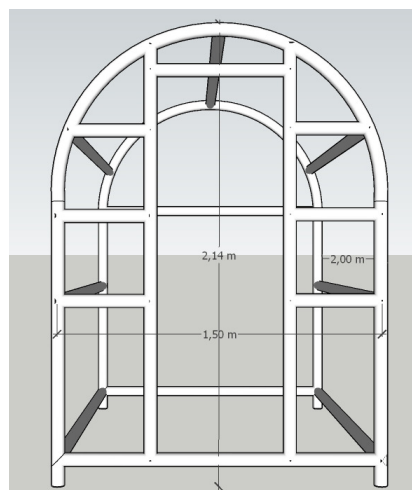


Figura 3.32: Estructura vista frontal

En la Figura 3.33, se observa la vista posterior del prototipo.

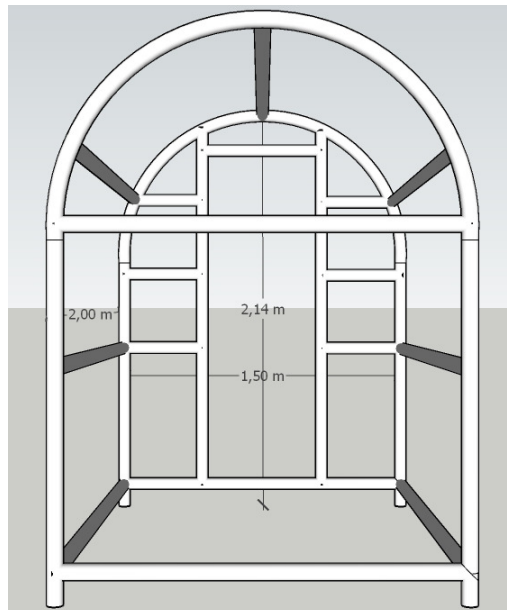


Figura 3.33: Estructura vista posterior

El diseño está compuesto por una puerta para el ingreso hacia el cultivo, para la construcción del prototipo de invernadero, se utilizó tubo metálico de 3cm de espesor y varilla de construcción de 1/2. (véase en la Figura 3.34)



Figura 3.34: Estructura armada

### 3.2.8. Plantación y condiciones para el desarrollo de la rosa

Al tener la estructura armada, se procedió a ubicarla en el terreno que previamente fue preparado y tratado haciendo una mezcla de tierra negra, humus y cal agrícola, para así eliminar bacterias, hongos y plagas que pudiesen haber existido, este tuvo un reposo de 14 días, en este lapso de tiempo, se regó con agua frecuentemente, para así empezar la plantación de rosas en un terreno con nutrientes y sin plagas, cabe mencionar que en este prototipo de invernadero, se sembró las plantas de rosas bajo las mismas condiciones de terreno utilizadas en las florícolas, como se presenta en la Figura 3.35 y 3.36



Figura 3.35: Terreno con tierra negra, humus, cal agrícola



Figura 3.36: Terreno reposado

Una vez instalada la estructura en el campo adecuado se procede a instalar el plástico cubriendo toda la estructura del prototipo (véase en la Figura 3.37)



Figura 3.37: Estructura con plástico

Dentro del invernadero se creó 3 camas en cada una de estas se sembró 4 plantas de rosas cabe recalcar sobre un terreno ya tratado y lleno de nutrientes, los sensores de humedad ambiente, humedad del suelo y temperatura, se encuentran distribuidos en lugares estratégicos con el propósito de cubrir toda al área, de igual manera, la cinta de goteo se ubico alrededor de las camas de forma que rodee a la planta y así poder suministrar la fertirrigación mediante goteo de manera uniforme en toda el área de plantación, el ventilador para el control de la temperatura se ubicó en la parte superior del invernadero con ello existe una buena re circulación de aire.

Según los datos y las pruebas realizadas en campo, estas deben ser las principales características:

- Temperatura ideal en el día: 17°C - 25°C / noche máximo hasta 14°C
- Humedad del ambiente: 70-80 % humedad
- Humedad del suelo: varía en 2 etapas, la primera es en la etapa de crecimiento desde la plantación, hasta llegar a la poda donde la rosa necesita una mayor cantidad de agua en rango del 80 al 90 % de humedad, la segunda es en el desbrotado y desbotonado donde la cantidad de humeado del suelo disminuye en un rango ideal del 40 al 70. %

## Capítulo 4

# Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al implementar en campo el modelo de machine learning.

### 4.1. Obtención de datos

Para la obtención de datos, análisis de históricos, y validación del modelo, se instaló el invernadero en la provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, aproximadamente a 2683 metros sobre el nivel del mar (véase en la Figura 4.1)



Figura 4.1: Ubicación invernadero

Para el diseño, elaboración, construcción e instalación del prototipo, se optó por un invernadero tipo túnel con dimensiones estándar ya que al ser un modelo de estudio



y análisis es necesario tener en cuenta las propiedades y características básicas de un invernadero.

## 4.2. Pruebas y operación del Invernadero

En las pruebas de campo, dentro del invernadero se dividió el área de cultivo en 2 secciones, en la primera sección se tiene 2 camas controladas mediante el uso del algoritmo de machine learning y la tercera cama utilizada para realizar un control mediante el método tradicional.

Utilizando el método tradicional, es decir, aplicando agua al observar que el suelo este seco, sin control directo des variable climáticas mencionadas, se evidencia en las plantas de rosas, en la tercera cama, que el tamaño del tallo es fino, flexible y semi erecto, de aproximadamente 70cm de altura, existen botones ciegos, las hojas poseen quemaduras en sus margenes, una coloración opaca, pétalos escasos y sus capullos aun no empiezan a brotar, como se presenta en la Figura 4.2



Figura 4.2: Operación, método tradicional

Utilizando el algoritmo de machine learning en la primera y segunda cama en las plantas de rosas, al tener un control y monitorización de humedad ambiente, temperatura y humedad del suelo, en la Figura 4.3, se evidencia que el tallo es grueso, rígido y erecto, de aproximadamente 95 cm de altura, no existen botones ciegos, las hojas son de color verde, sin manchas ni quemaduras en sus margenes, sus capullos están en etapa de brotación, con abundantes pétalos.



Figura 4.3: Operación, mediante Machine Learning

En la Figura 4.4, se logra visualizar a detalle el estado de; las hojas, el tallo, los capullos, los pétalos de las rosas, al utilizar Machine Learning.



Figura 4.4: Estado de la rosa, Utilizando Machine Learning

(véase la Figura 4.5), se presenta a detalle el estado de; las hojas, el tallo, los capullos, los pétalos de las rosas al utilizar el método tradicional.



Figura 4.5: Estado de la rosa, Método tradicional

### 4.3. Análisis de valores con Algoritmo de Regresión Lineal

Dentro de la adquisición de datos mediante evaluación de algoritmo basado en Machine Learning se obtiene valores de los sensores ubicados dentro del invernadero estos generan un valor promedio tanto en humedad ambiente, humedad del suelo y temperatura, para ello la recepción de información por medio de los sensores se realiza en tiempo real. Entonces la predicción se ejecuta cada 60 segundos, una vez que se registra 1 minuto o a su vez 60 segundos se actualiza la variable para un nuevo comienzo, este valor generado se podría decir que se guarda en un archivo pronóstico lineal, por lo tanto, este es el dato que se tiene de referencia que dentro de un lapso de tiempo existirá una variación de temperatura.

Por lo tanto, se realiza una comparación entre el valor de referencia y el valor por defecto o estimado, es decir, informa si la temperatura es alta o baja evidenciando como resultado final un valor de salida de predicción lineal, la cantidad de muestras depende del tiempo de adquisición de datos, dependiendo de los datos que se tenga se obtiene un 70 % para aprendizaje y un 30 % para pruebas.



Una vez que se ha obtenido los datos de investigación se genera una tabla que viene precedida por fecha, hora, humedad, temperatura y humedad del suelo. Se tomó como ejemplo de estudio datos en la mañana, tarde y noche.

Se insertar los datos en la siguiente tabla de manera general, se toma varios datos logrando tener una idea clara una vez que se vaya a realizar un análisis correcto, como se puede evidenciar en las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8, por lo tanto, se logra mantener la humedad en el ambiente, temperatura y humedad del suelo entre un rango moderado y estable para el desarrollo de la planta.

Tabla 4.1: Datos adquiridos en tiempo real día No. 1

| Fecha      | Hora     | Humedad | Temperatura | Humedad suelo |
|------------|----------|---------|-------------|---------------|
| 17/10/2022 | 21:15:33 | 77.65   | 14.82       | 371           |
| 17/10/2022 | 21:16:33 | 77.68   | 14.82       | 363           |
| 17/10/2022 | 21:17:33 | 77.68   | 14.82       | 366           |
| 17/10/2022 | 21:18:33 | 77.68   | 14.82       | 365           |
| 17/10/2022 | 21:19:33 | 77.68   | 14.82       | 371           |
| 17/10/2022 | 21:20:33 | 77.72   | 14.78       | 369           |
| 17/10/2022 | 21:21:33 | 77.39   | 14.85       | 367           |
| 17/10/2022 | 21:22:33 | 76.59   | 14.82       | 366           |
| 17/10/2022 | 21:23:33 | 76.59   | 14.88       | 366           |
| 17/10/2022 | 21:24:33 | 76.66   | 14.82       | 370           |
| 17/10/2022 | 21:25:33 | 75.97   | 14.88       | 363           |
| 17/10/2022 | 21:26:33 | 76.10   | 14.85       | 546           |
| 17/10/2022 | 21:27:33 | 76.36   | 14.78       | 312           |
| 17/10/2022 | 21:28:33 | 76.63   | 14.85       | 326           |
| 17/10/2022 | 21:29:33 | 77.73   | 14,88       | 315           |

Los datos adquiridos en tiempo real del día No. 1, dan como referencia inicial los primeros pasos de aprendizaje evidenciando que estos valores serán el punto de partida de evaluación, por lo tanto, se trabaja con las 3 variables climáticas antes mencionadas. En cuanto humedad ambiente se tiene un rango aceptable, como referencia se obtiene un rango estimado de 77.68 %, que se encuentra en el rango estable, de similar manera la temperatura se trabaja con un valor de 14.82 °C, posiblemente no varía debido al control que genera el modelo, para la humedad del suelo existe una variable normal dentro de los rangos establecidos.

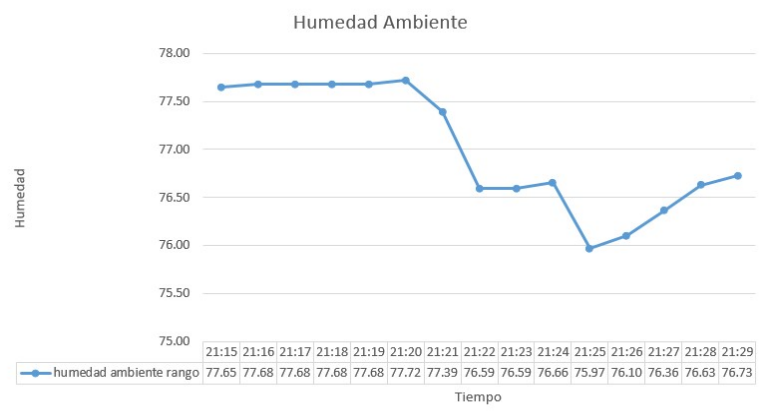


Figura 4.6: Datos Humedad ambiente día No.1

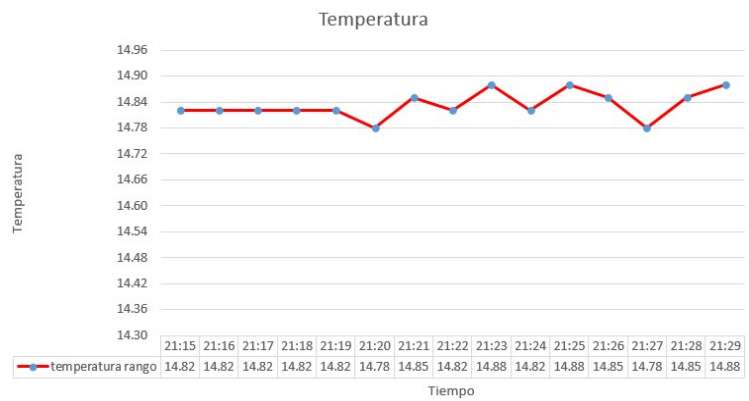


Figura 4.7: Datos temperatura día No.1

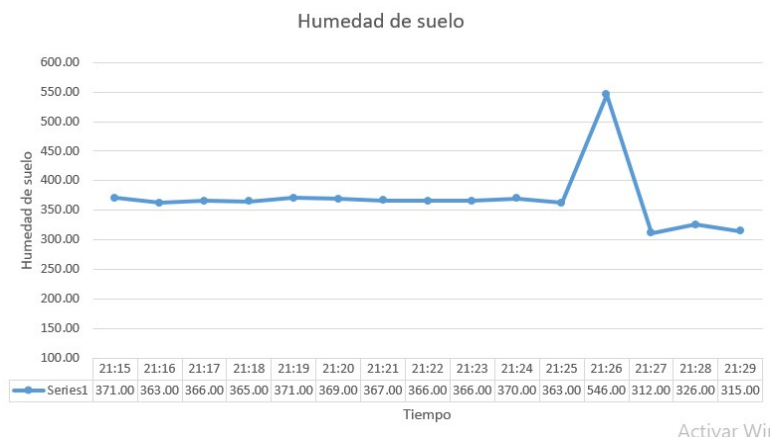


Figura 4.8: Datos humedad de suelo día No.1

Dentro del estudio de las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8, se generan picos o variaciones en las 3 figuras, esto se debe que son datos iniciales tanto en humedad, temperatura y humedad de suelo. Los picos que se evidencia es debido a las fluctuaciones ambientales que aún no son controladas en su totalidad, es decir, el sistema implementado va ser autónomo con el paso del tiempo a medida que va adquiriendo datos y va aprendiendo.

La siguiente Figura 4.9, detalla el comportamiento de evaluación del algoritmo de regresión, por medio del cual se analiza el valor de la variable independiente que es adquirida por medio de los sensores y se logra establecer el valor de la variable dependiente por medio del análisis del algoritmo, además dentro de la evaluación se observa en la gráfica que todos los valores en estudio tienen un valor mínimo de distancia llamados coeficientes, que sean cercanos a una ecuación lineal logrando minimizar las discrepancias entre los datos obtenidos con los datos predecidos.

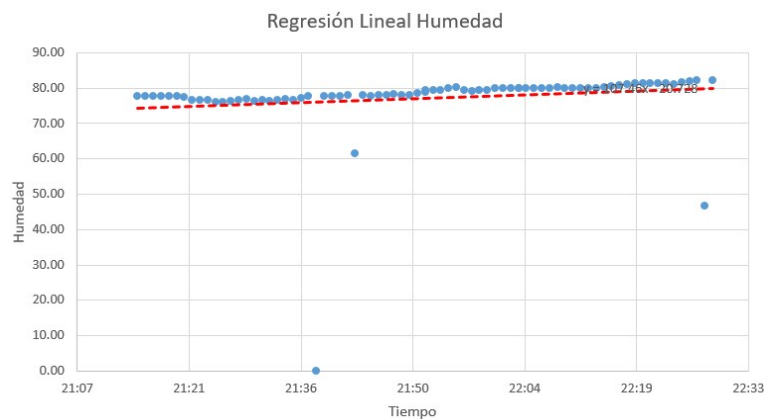


Figura 4.9: Regresión lineal humedad de suelo

Para el estudio de la Figura 4.9, se tiene coeficientes o valores mínimos dentro de la representación en discrepancias de estudio, además, cuenta con la generación de la línea recta dentro de la figura, esta representación hace que el sistema en ejecución sea ideal para el cultivo de rosas.

Por lo tanto, se sabe que los datos adquiridos son correctos para un procesamiento activando y desactivando los actuadores, según sea la necesidad dentro del prototipo, finalmente se ejecuta el algoritmo generando de esta manera la regresión lineal.

Para la Figura 4.10, se evalúa bajo el mismo concepto de la Figura 4.9, aquí cambia el método de adquisición de datos, se trata de la temperatura que al tener o detectar un exceso se acciona un ventilador el mismo que añade o permite el ingreso de aire para que tenga una temperatura ideal para la planta en desarrollo.

Dentro de la composición metodológica adquirida se mantiene un clima favorable en el interior, evacua el excedente de temperatura evidenciada en calor producido en los

momentos de alta insolación.

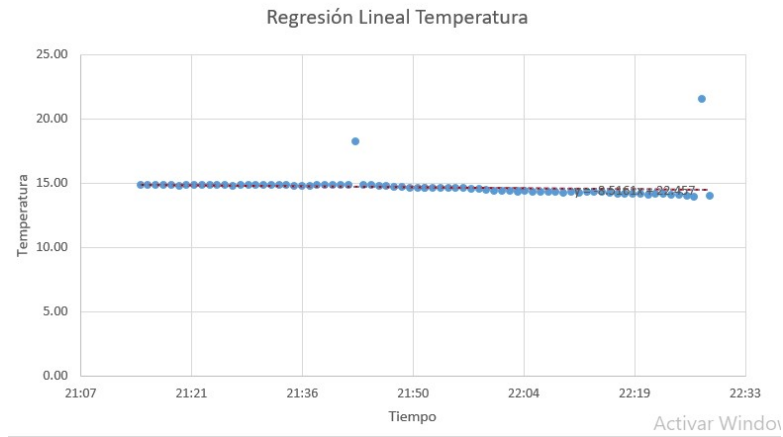


Figura 4.10: Regresión lineal temperatura

Para el estudio de la Figura 4.11, se trabaja dentro de un promedio de datos de humedad del suelo, que en su representación es la parte mayoritaria del terreno o suelo en evaluación, dentro del parámetro de humedad siendo de esta manera una variable importante en los ciclos de sequía y abundancia de agua.

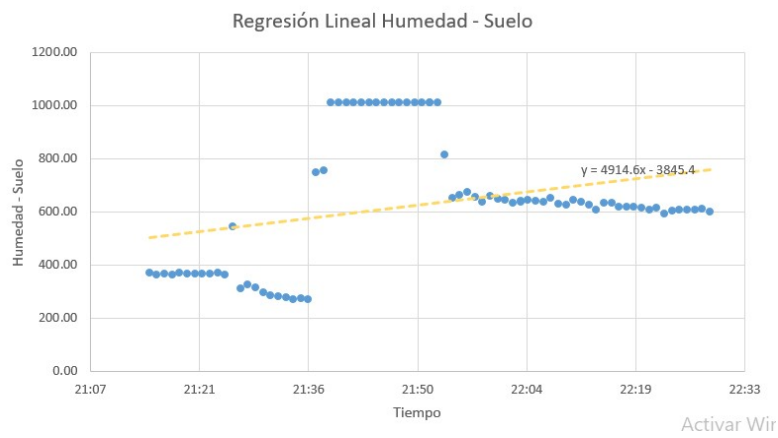


Figura 4.11: Regresión lineal humedad del suelo

Se inserta los siguientes valores correspondiente al día 2 para su muestreo y análisis de las gráficas.

Tabla 4.2: Datos adquiridos en tiempo real día No. 2

| Fecha      | Hora     | Humedad | Temperatura | Humedad suelo |
|------------|----------|---------|-------------|---------------|
| 17/10/2022 | 16:29:03 | 43.79   | 22.01       | 620           |
| 17/10/2022 | 16:30:03 | 44.58   | 21.95       | 619           |
| 17/10/2022 | 16:31:03 | 45.57   | 21.85       | 620           |
| 17/10/2022 | 16:32:03 | 45.64   | 21.62       | 616           |
| 17/10/2022 | 16:33:03 | 46.13   | 21.42       | 610           |
| 17/10/2022 | 16:34:03 | 46.53   | 21.25       | 614           |
| 17/10/2022 | 16:35:03 | 47.12   | 21.12       | 595           |
| 17/10/2022 | 16:36:03 | 47.09   | 21.09       | 606           |
| 17/10/2022 | 16:37:03 | 47.12   | 21.02       | 610           |
| 17/10/2022 | 16:38:03 | 47.26   | 20.95       | 609           |
| 17/10/2022 | 16:39:03 | 47.03   | 20.92       | 609           |
| 17/10/2022 | 16:40:03 | 47.49   | 20.89       | 612           |
| 17/10/2022 | 16:41:03 | 47.92   | 20.89       | 600           |
| 17/10/2022 | 16:42:03 | 47.68   | 21.02       | 634           |
| 17/10/2022 | 16:43:03 | 47.71   | 21.12       | 637           |

En los datos adquiridos en tiempo real del día No. 2, se analiza un modelo más compacto debido al algoritmo que va aprendiendo al transcurrir el tiempo de ejecución, por lo tanto, se analizan datos en la tarde evidenciando un mejor control con una discrepancia en datos pequeña, la gráfica de la temperatura tiene esa forma debido a un correcto desempeño en función de los datos adquiridos.

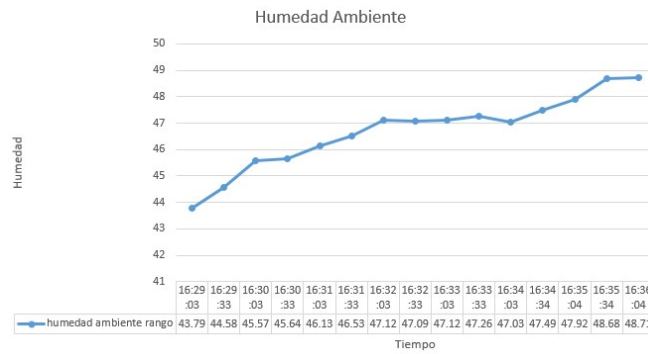


Figura 4.12: Datos humedad ambiente día No. 2

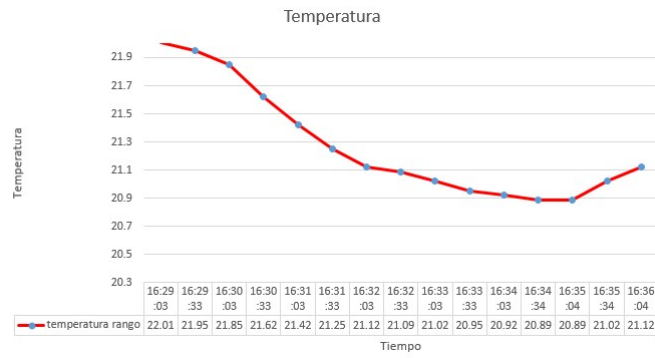


Figura 4.13: Datos temperatura día No. 2

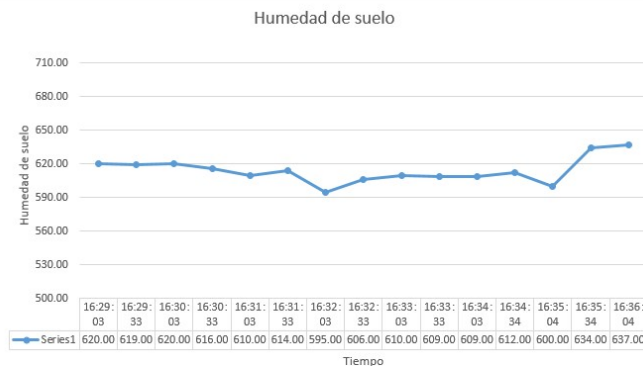


Figura 4.14: Datos humedad de suelo día No. 2

En las siguientes imágenes se observan las regresiones lineales de cada una de las gráficas en estudio, de esta manera se visualiza que el sistema cada día es más sólido a nivel de aprendizaje, logrando de esta manera tome decisiones futuras sobre el ambiente del invernadero.

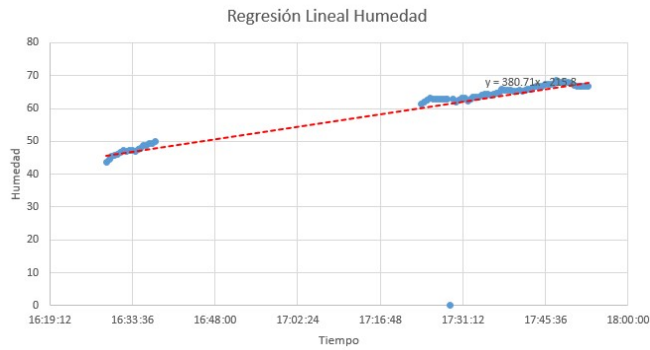


Figura 4.15: Regresión lineal humedad ambiente

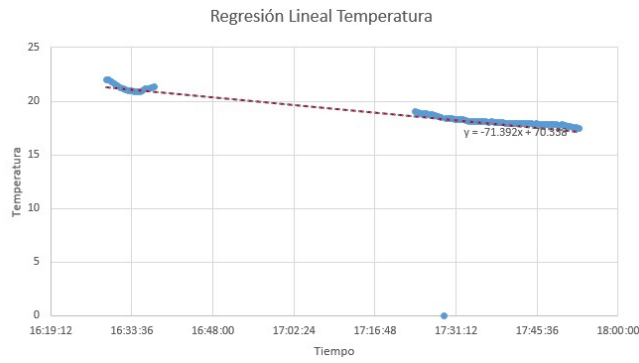


Figura 4.16: Regresión lineal temperatura

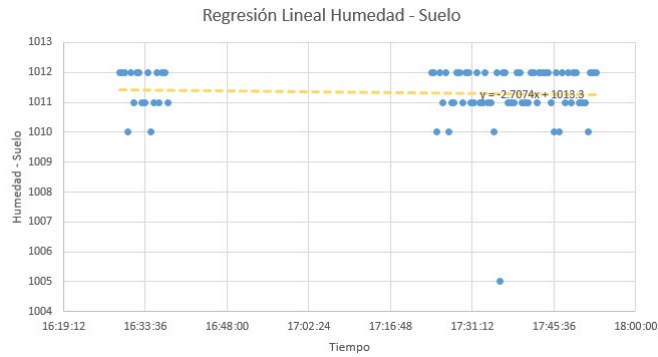


Figura 4.17: Regresión lineal humedad - suelo

Tabla 4.3: Datos adquiridos en tiempo real día No. 3

| Fecha      | Hora     | Humedad | Temperatura | Humedad suelo |
|------------|----------|---------|-------------|---------------|
| 18/10/2022 | 07:50:39 | 85.21   | 18.08       | 548           |
| 18/10/2022 | 07:51:09 | 85.37   | 18.28       | 550           |
| 18/10/2022 | 07:52:39 | 85.44   | 18.35       | 549           |
| 18/10/2022 | 07:53:09 | 85.57   | 18.45       | 549           |
| 18/10/2022 | 07:54:39 | 84.88   | 18.55       | 548           |
| 18/10/2022 | 07:55:09 | 84.55   | 18.65       | 554           |
| 18/10/2022 | 07:56:39 | 84.35   | 18.74       | 547           |
| 18/10/2022 | 07:57:09 | 84.35   | 18.88       | 556           |
| 18/10/2022 | 07:58:39 | 84.38   | 18.91       | 558           |
| 18/10/2022 | 07:59:09 | 84.35   | 19.04       | 557           |
| 18/10/2022 | 08:09:39 | 83.89   | 19.17       | 548           |
| 18/10/2022 | 08:19:09 | 83.79   | 19.31       | 550           |
| 18/10/2022 | 08:29:39 | 83.72   | 19.44       | 548           |
| 18/10/2022 | 08:39:09 | 83.56   | 19.57       | 549           |

Los datos adquiridos en tiempo real día No. 3, se tiene de similar manera las 3 variables climáticas antes mencionadas, se analizan estos datos en la mañana, por lo cual, se evidencia un aprendizaje robusto, por lo tanto, los valores tienen una discrepancia mínima de 0,2 de punto a punto, de esta manera se garantiza que el sistema está funcionando de manera ideal.

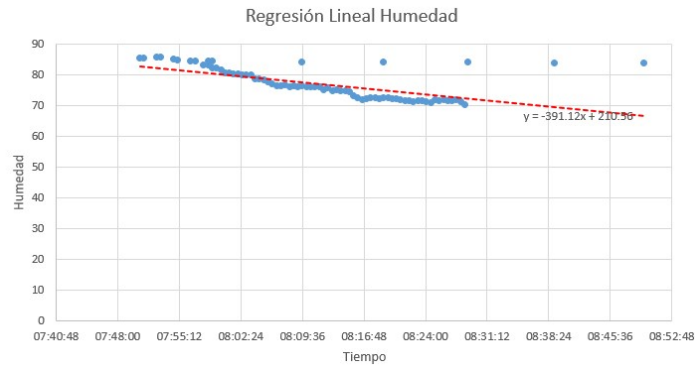


Figura 4.18: Regresión lineal humedad ambiente

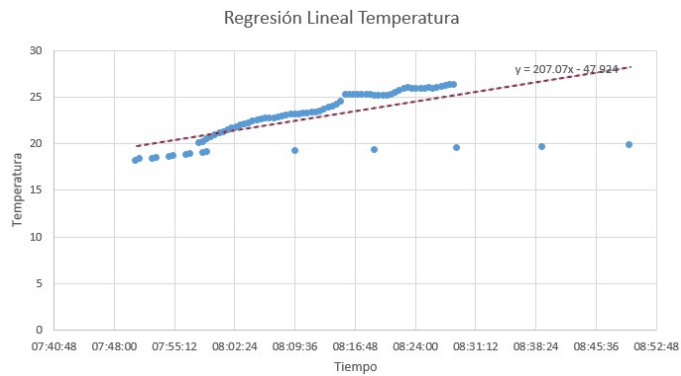


Figura 4.19: Regresión lineal temperatura



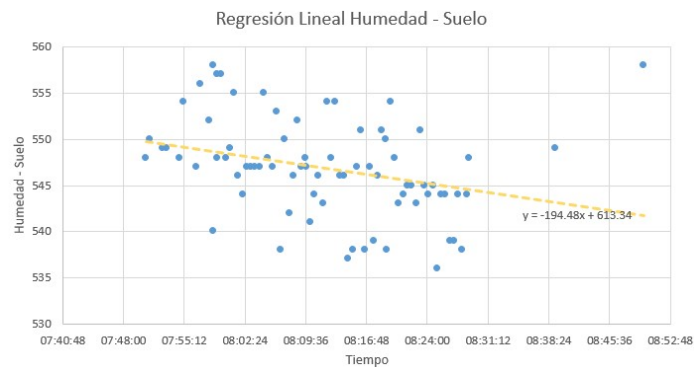


Figura 4.20: Regresión lineal humedad de suelo

La evaluación en las figuras en regresión lineal hace una aclaración muy detallada al momento de verificar el proceso de evaluación del algoritmo implementado, para el desarrollo de este sistema, se visualiza que las gráficas van desarrollando un aprendizaje correcto de como el algoritmo va generando un aprendizaje basado en datos que luego son procesados y como resultado se tiene datos coherentes para determinar a un futuro una predicción fiable en relación de las variables ambientales en estudio.

#### 4.3.1. Visualización de datos plataforma thethings.iO

La visualización de la información y estado de las variables climáticas en tiempo real, se puede hacer desde la plataforma thethings.iO, en humedad del ambiente se presenta un porcentaje de humedad ideal, que va desde el 70 al 85 % y es constante en el tiempo, en la temperatura al llegar la noche y al someterle de manera intencionada con la apertura de ventanas y puerta se observa claramente como la temperatura decae a 13°C, en humedad del suelo el rango varia desde los 318 hasta 327 en porcentaje (véase la Figura 4.21)

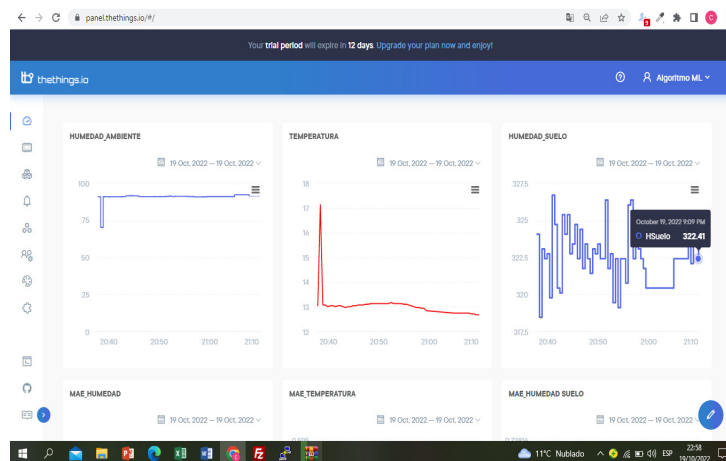


Figura 4.21: Visualización, variables climáticas

- **Error absoluto medio (MAE)**

Dentro de la plataforma thethings.iO, se tiene datos del Error absoluto medio (MAE), estos datos son de vital importancia, mientras el MAE más se aproxima al valor 0, quiere decir que, el sistema esta aprendiendo de una manera correcta y la predicción es adecuada, es decir, se tiene un error de predicción mínimo, caso contrario mientras el MAE, se distancia del valor 0, la predicción no es correcta.

En la Figura 4.22, se observa que el valor del MAE humedad ambiente, es constante posee un valor de 2.23, el error absoluto medio se aproxima a 0, es decir, la proyección es correcta.

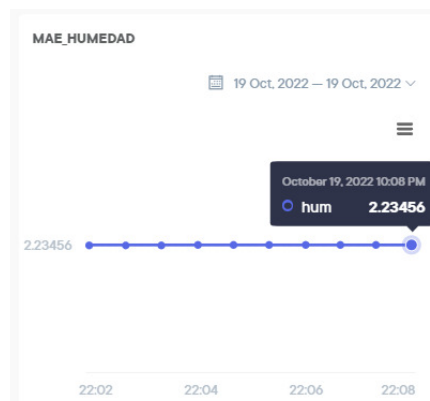


Figura 4.22: MAE Humedad

En la Figura 4.23, se observa que el valor del MAE temperatura, va decreciendo, posee un valor de 0.58518, el error absoluto medio se aproxima a 0, es decir, la proyección es correcta.



Figura 4.23: MAE temperatura

En la Figura 4.24, el valor del MAE humedad del suelo, va decreciendo, posee un

valor de 0.73458, el error absoluto medio se aproxima a 0, es decir, la proyección que esta realizando es correcta.



Figura 4.24: MAE Humedad Suelo

## 4.4. Conclusiones

Para desarrollar este proyecto, se realizó un estudio que consiste en combinar componentes tanto en hardware y software mediante dispositivos y una aplicación en la nube, donde se puede evidenciar la revisión del modelo implementado, mediante la evaluación de datos para establecer una mejor comunicación entre el operario y el sistema.

El modelo de machine learning desarrollado funcionó acorde a los objetivos planteados, demostrando que, el algoritmo de regresión lineal es idóneo para efectuar predicciones en base a los datos obtenidos y al cálculo del MAE (Error absoluto medio), de estos datos se destina 70 % para entrenamiento y 30 % prueba, el resultado de los análisis se presentó en la plataforma thethings.iO, permitiendo visualizar en tiempo real, que la humedad del ambiente, temperatura y humedad del suelo dentro de la nave, se encuentra en los umbrales previamente definidos, el MAE, en las 3 variables tiende al valor 0, por lo tanto, la predicción es correcta.

Mediante la utilización del algoritmo de machine learning, se mejora la producción, aproximadamente un 50 % más, en comparación con el método tradicional, debido al control adecuado de humedad ambiente, humedad del suelo y temperatura, logrando mantener los umbrales adecuados; humedad del ambiente, entre 70-85 % de forma constante, temperatura 20-22°C durante el día y 14°C como mínimo durante la noche y humedad del suelo entre 300-700 %, en base a estas variables, se garantiza que la planta de rosas a sus 50 días esté en las mejores condiciones, generando así competitividad y beneficios económicos.

Para validar el funcionamiento del sistema, se evidencian en la etapa de crecimiento y floración, que a los 50 días de plantada la rosa, mediante el método tradicional, el tallo es fino, flexible y semi erecto, de aproximadamente 70 cm de altura, algunas hojas con

manchas, botones ciegos y rosas relativamente pequeñas con escasos pétalos, utilizando el modelo de regresión lineal se tiene una mejora en las características del 30 %, el tallo es grueso, rígido y erecto, de aproximadamente 95 cm de altura, hojas verdes sin manchas, sin botones ciegos y rosas grandes con abundantes pétalos, además, el modelo de predicción funciona en óptimas condiciones, al tener un MAE con valores de discriminación mínimos en el rango del 1 %.

# Bibliografía

- S. Arriarán. Todo sobre sistemas embebidos. arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el pic18f. 2015.
- H. D. Barrionuevo Apaza. Implementación de un sistema de monitoreo remoto y de control para la mayor eficiencia en un cultivo de tomates cherry por hidroponía en sustrato preparado, en el cono sur de arequipa. 2020.
- V. Berlanga, M. J. Rubio Hurtado, and R. Vilà Baños. Cómo aplicar árboles de decisión en spss. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 2013, vol. 6, num. 1, p. 65-79, 2013.
- M. A. Boden. *Inteligencia artificial*. Turner, 2017.
- R. E. Castañeda Valdivieso, J. R. Guerrero Meza, B. E. Renteros Parra, and J. A. Villanueva Mejía. Detección de nutrientes del suelo y planta, y pestes en campos de cultivo de banano orgánico con machine learning. 2021.
- N. D. Castro, L. E. Chamorro, and C. A. Viteri. Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado. *Revista de ciencias agrícolas*, 33(2): 106–116, 2016.
- H. Chitarroni. La regresión logística. 2002.
- B. L. C. Coronado, A. Díaz-Ramírez, V. Q. Rosas, M. A. Camarillo-Ramos, and J. A. Atempa-Camacho. Sistema con base en el internet de las cosas para el control de riego en la agroindustria. *Res. Comput. Sci.*, 148(2):63–76, 2019.
- P. A. García. *Sistemas embebidos de tiempo real con aplicaciones en bioingeniería*. PhD thesis, Universidad Nacional de La Plata, 2019.
- Ó. García Ramos. Plan de negocio de empresa especializada en el mantenimiento de jardines basada en internet de las cosas (iot) y desarrollo de aplicación web conectada a la plataforma iot “thinger. io”. B.S. thesis, 2018.
- E. A. Gomez Garcia and B. H. Quichimbo Ortiz. Propuesta de diseño de invernadero inteligente para el desarrollo de cultivos de hortalizas en el cantón samborondón. B.S. thesis, 2019.

- C. Gómez Rea et al. Análisis histórico del sector florícola en el Ecuador y estudio del mercado para determinar su situación actual. B.S. thesis, San Francisco de Quito, 2014.
- J. A. Guerrero-Ibañez, F. P. Estrada-Gonzalez, M. A. Medina-Tejeda, M. Rivera-Gutierrez, J. Alcaraz-Aguirre, C. Maldonado-Mendoza, D. Toledo-Zuñiga, and V. Lopez-Gonzalez. Sgreenh-iot: Plataforma iot para agricultura de precisión. *Sistemas, cibernética e informática*, 14(2), 2017.
- J. Guillot, C. Robles, and J. Callejas. Adquisición de señales ambientales para un sistema de alerta temprana. *Información tecnológica*, 28:45–54, 01 2017. doi: 10.4067/S0718-07642017000500007.
- O. D. S. Iván. Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos, 2017.
- R. K. Kodali and K. S. Mahesh. Low cost implementation of smart home automation. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, pages 461–466, 2017.
- Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton. Deep learning. *nature*, 521(7553):436–444, 2015.
- K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8):2674, 2018.
- K. López-Aguilar, A. Benavides-Mendoza, S. González-Morales, A. Juárez-Maldonado, P. Chiñas-Sánchez, and A. Morelos-Moreno. Artificial neural network modeling of greenhouse tomato yield and aerial dry matter. *Agriculture*, 10(4), 2020. ISSN 2077-0472. doi: 10.3390/agriculture10040097. URL <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/4/97>.
- B. Mahesh. Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, 9:381–386, 2020.
- M. Mamani, M. Villalobos, and R. Herrera. Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4): 599–618, 2017a.
- M. Mamani, M. Villalobos, and R. Herrera. Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4): 599–618, 2017b.
- R. B. Moreno Echavarría. Propuesta didáctica para la enseñanza de la estadística en los modelos de regresión lineal simple bajo un enfoque constructivista. *Facultad de Ciencias*, 2012.
- S. I. Palaguachi Encalada. Diseño, desarrollo e implementación de una estación meteorológica basada en una red jerárquica de sensores, software libre y sistemas embebidos para la empresa elecaustro en la minicentral gualaceo utilizando comunicación mqtt y modbus. B.S. thesis, 2018.

- J. F. Peña Guillen. Establecimiento de una plantación de una hectárea de rosas. 2011.
- D. Pérez. Sistemas embebidos y sistemas operativos embebidos. *Lecturas en ciencias de la computación. Universidad Central de Venezuela, Vols. % i de % 2ISSN*, pages 1316–6239, 2009.
- J. Pérez Monsalve. Un invernadero inteligente para optimizar los cultivos. *Revista Universidad EAFIT*, 54(173):136–139, 2019.
- M. Quiñones-Cuenca, V. González-Jaramillo, R. Torres, and M. Jumbo. Monitoring system of environmental variables using a wireless sensor network and platforms of internet of things. *Enfoque UTE*, 8:329–343, 2017.
- P. Rode, R. Gamarra, H. Espinosa, A. Guizar, D. Daz, P. P. Cruz, and A. Gutierrez. Invernadero inteligente basado en un enfoque sustentable para la agricultura mexicana. In *Memorias del VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, Cuernavaca Morelos, México*, pages 623–630, 2010.
- L. Rouhiainen. Inteligencia artificial. *Madrid: Alienta Editorial*, 2020.
- M. G. V. Rueda, M. I. Reyes, F. G. F. García, and H. A. M. Casillas. Redes neuronales aplicadas al control de riego usando instrumentación y análisis de imágenes para un micro-invernadero aplicado al cultivo de albahaca. *Res. Comput. Sci.*, 147(5):93–103, 2018.
- S. Saha and A. Majumdar. Data centre temperature monitoring with esp8266 based wireless sensor network and cloud based dashboard with real time alert system. In *2017 Devices for Integrated Circuit (DevIC)*, pages 307–310, 2017. doi: 10.1109/DEVIC.2017.8073958.
- J. Sanchez. Machine learning. 2020. URL <https://technovert.com/solutions/insurance/applied-ai/>.
- P. Sánchez and M. Calvache. Determinación de la acumulación y exportación de nutrientes en tres variedades de rosas bajo invernadero. checa-pichincha. *Revista Rumipamba*, 16: 41, 2002.
- L. J. Sandoval Serrano et al. Algoritmos de aprendizaje automático para análisis y predicción de datos. *Revista Tecnológica; no. 11*, 2018.
- M. T. Shakoor, K. Rahman, S. N. Rayta, and A. Chakrabarty. Agricultural production output prediction using supervised machine learning techniques. In *2017 1st international conference on next generation computing applications (NextComp)*, pages 182–187. IEEE, 2017.
- A. Sharma, A. Jain, P. Gupta, and V. Chowdary. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9:4843–4873, 2020.

- H. Velásquez. La floricultura en el ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, pages 26–29, 2016.
- P. A. R. Vieda, J. A. S. Plazas, and A. F. T. Camacho. Automatización de invernadero para producción agrícola con tecnología de punta a bajo costo. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 3:9–23, 2017.
- P. Webster. Manejo integrado de ácaros en el cultivo de rosas bajo invernadero. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, (4):55–57, 2005.