



UNIVERSIDAD  
**SAN IGNACIO  
DE LOYOLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Carrera de Ingeniería Informática y de Sistemas**

**APLICACIÓN DE IOT EN EL PROCESO DE  
FERTILIZACIÓN DE MANDARINAS MEDIANTE UN  
SISTEMA DE RED DE SENSORES**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Informático y de Sistemas**

**LUIS DAVID CRUZ GAVILAN**  
**(0000-0002-8048-1283)**

**ERNESTO ANDRES MAGUIÑA VILCHEZ**  
**(0000-0002-8256-5114)**

**Asesor:**  
**Mg. Jimmy Robert Fajardo Castro**  
**(0000-0003-3757-8220)**

**Lima - Perú**  
**2021**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                                                                                 | 2  |
| ABSTRACT .....                                                                                               | 3  |
| IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....                                                                             | 4  |
| FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                                                                               | 7  |
| Problema General .....                                                                                       | 7  |
| Problemas Específicos.....                                                                                   | 7  |
| MARCO REFERENCIAL .....                                                                                      | 8  |
| Antecedentes Internacionales: .....                                                                          | 8  |
| Antecedentes Nacionales: .....                                                                               | 13 |
| Estado del Arte: .....                                                                                       | 18 |
| Análisis de la Humedad y Suelo NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) Usando Redes de Sensores Inalámbricos..... | 18 |
| Gestión de la Calidad del Suelo Usando Redes de Sensores Inalámbricos .....                                  | 23 |
| Un nuevo Framework para Monitoreo de Agricultura Inteligente Usando Internet de las Cosas .....              | 28 |
| Marco Teórico .....                                                                                          | 33 |
| Fertilización Agrícola .....                                                                                 | 33 |
| Cultivo de Mandarina .....                                                                                   | 33 |
| Riego en cultivos .....                                                                                      | 34 |
| Sistema de Monitoreo.....                                                                                    | 35 |
| Internet de las Cosas.....                                                                                   | 35 |
| Sensor.....                                                                                                  | 36 |
| Redes de Sensores .....                                                                                      | 37 |
| Computación en la Nube .....                                                                                 | 37 |
| Comunicación Inalámbrica .....                                                                               | 39 |
| Protocolo de transferencia de hipertextos .....                                                              | 41 |
| Microcontroladores .....                                                                                     | 42 |
| Base de datos .....                                                                                          | 43 |
| Herramienta de código abierto para internet de las cosas .....                                               | 44 |
| Baterías .....                                                                                               | 45 |
| OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....                                                                           | 47 |
| Objetivo General .....                                                                                       | 47 |
| Objetivos Específicos.....                                                                                   | 47 |

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                                                      | <b>48</b> |
| <b>Teórica.....</b>                                                                                 | <b>48</b> |
| <b>Práctica.....</b>                                                                                | <b>48</b> |
| <b>Social.....</b>                                                                                  | <b>49</b> |
| <b>HIPÓTESIS .....</b>                                                                              | <b>50</b> |
| <b>Hipótesis General .....</b>                                                                      | <b>50</b> |
| <b>Hipótesis Específicas .....</b>                                                                  | <b>50</b> |
| <b>ALCANCE.....</b>                                                                                 | <b>51</b> |
| <b>LIMITACIONES .....</b>                                                                           | <b>51</b> |
| <b>MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>                                                                 | <b>52</b> |
| <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>                                                                     | <b>53</b> |
| <b>Paradigma .....</b>                                                                              | <b>53</b> |
| <b>Enfoque .....</b>                                                                                | <b>53</b> |
| <b>Método.....</b>                                                                                  | <b>54</b> |
| <b>VARIABLES .....</b>                                                                              | <b>55</b> |
| <b>Variable Independiente: .....</b>                                                                | <b>55</b> |
| <b>Variable Dependiente: .....</b>                                                                  | <b>56</b> |
| <b>POBLACIÓN .....</b>                                                                              | <b>57</b> |
| <b>MUESTRA.....</b>                                                                                 | <b>57</b> |
| <b>UNIDAD DE ANÁLISIS .....</b>                                                                     | <b>57</b> |
| <b>TÉCNICAS.....</b>                                                                                | <b>58</b> |
| <b>INSTRUMENTOS .....</b>                                                                           | <b>58</b> |
| <b>PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>                                                       | <b>58</b> |
| <b>PROTOTIPO.....</b>                                                                               | <b>59</b> |
| <b>Requerimientos.....</b>                                                                          | <b>59</b> |
| <b>Hardware.....</b>                                                                                | <b>59</b> |
| <b>Software.....</b>                                                                                | <b>60</b> |
| <b>RESULTADOS .....</b>                                                                             | <b>61</b> |
| <b>1. Variable independiente: Internet de las cosas mediante un sistema de red de sensores.....</b> | <b>61</b> |
| <b>1.1. Conocimiento previo del sistema de internet de las cosas.....</b>                           | <b>61</b> |
| <b>1.2. Uso de Sistemas de IoT en la agricultura en la Provincia de Huaral. ....</b>                | <b>62</b> |
| <b>1.3. Medición del nivel de macronutrientes del suelo.....</b>                                    | <b>62</b> |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4. Experiencia de usuario en el uso de la aplicación web para medir los macronutrientes del suelo. .... | 63 |
| 1.5. Accesibilidad a la interfaz del usuario desde cualquier sistema operativo. ...                       | 64 |
| 2. Variable dependiente: Proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas ..                        | 65 |
| 2.1. Optimización de la cantidad de fertilizantes por hectárea. ....                                      | 65 |
| 2.2. Determinación de la cantidad de macronutrientes que requiere el terreno agrícola. ....               | 65 |
| 2.3. Optimización de la cantidad de aplicaciones de fertilizantes al terreno agrícola .....               | 66 |
| 2.4. Consumo de energía eléctrica.....                                                                    | 67 |
| 2.5. Justificación del costo y beneficio.....                                                             | 67 |
| 2.6. Monitoreo remoto.....                                                                                | 68 |
| 2.7. Uso del internet de las cosas.....                                                                   | 69 |
| 2.8. Viabilidad de la adquisición de sensores .....                                                       | 70 |
| 2.9. Nivel de utilidad de internet de las Cosas en la agricultura .....                                   | 70 |
| 2.10. Análisis de resultados de las encuestas.....                                                        | 71 |
| 3. Prueba de Hipótesis General.....                                                                       | 72 |
| 4. Pruebas de Hipótesis Específica .....                                                                  | 75 |
| 4.1. Prueba de hipótesis específica 1 .....                                                               | 75 |
| 4.2. Prueba de hipótesis específica 2 .....                                                               | 78 |
| 4.3. Prueba de hipótesis específica 3 .....                                                               | 81 |
| 4.4. Prueba de hipótesis específica 4 .....                                                               | 84 |
| 5. Viabilidad del proyecto.....                                                                           | 87 |
| 5.1. Costo de inversión inicial .....                                                                     | 87 |
| 5.2. Costo anual de fertilizantes y proyección de ahorro .....                                            | 88 |
| 5.3. Flujo de Caja.....                                                                                   | 89 |
| DISCUSIÓN .....                                                                                           | 90 |
| CONCLUSIONES.....                                                                                         | 91 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                                     | 92 |
| REFERENCIAS.....                                                                                          | 93 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 1: Diagrama Ishikawa .....</b>                                                                           | <b>5</b>  |
| <b>Figura 2: Diagrama-FODA.....</b>                                                                                | <b>6</b>  |
| <b>Figura 3: Porcentaje de humedad del suelo para diferentes muestras .....</b>                                    | <b>21</b> |
| <b>Figura 4: Diseño del sistema de gestión de la calidad del suelo .....</b>                                       | <b>24</b> |
| <b>Figura 5: Diseño del Nodo Sensor .....</b>                                                                      | <b>25</b> |
| <b>Figura 6: Arquitectura de los datos del nodo de la puerta de enlace.....</b>                                    | <b>26</b> |
| <b>Figura 7: Gráficos de las lecturas de luz, humedad y temperatura cargados en la base de datos .....</b>         | <b>27</b> |
| <b>Figura 8: Diagrama de Flujo del sistema.....</b>                                                                | <b>29</b> |
| <b>Figura 9: Marco propuesto para diferentes niveles de datos.....</b>                                             | <b>31</b> |
| <b>Figura 10: Cuadrante Mágico del 2020 para la infraestructura en la nube y los servicios de plataforma. ....</b> | <b>38</b> |
| <b>Figura 11: Protocolos del Modelo Tcp/Ip .....</b>                                                               | <b>41</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabla 1: Rango de Fertilizantes para el Nitrógeno en el Suelo.....</b>                                                                                                   | <b>19</b> |
| <b>Tabla 2: Rango de Fertilizantes para el Fósforo en el Suelo.....</b>                                                                                                     | <b>19</b> |
| <b>Tabla 3: Rango de Fertilizantes para el Potasio en el Suelo. ....</b>                                                                                                    | <b>20</b> |
| <b>Tabla 4: Valores de Nutrientes para Diferentes Muestras.....</b>                                                                                                         | <b>22</b> |
| <b>Tabla 5: Comparación entre diversas tecnologías de comunicación.....</b>                                                                                                 | <b>40</b> |
| <b>Tabla 6: Indicadores Asociados a la variable Independiente. ....</b>                                                                                                     | <b>55</b> |
| <b>Tabla 7: Indicadores Asociados a la variable Independiente. ....</b>                                                                                                     | <b>56</b> |
| <b>Tabla 8: Pregunta 1. ....</b>                                                                                                                                            | <b>61</b> |
| <b>Tabla 9: Pregunta 2. ....</b>                                                                                                                                            | <b>62</b> |
| <b>Tabla 10: Pregunta 3. ....</b>                                                                                                                                           | <b>62</b> |
| <b>Tabla 11: Pregunta 4. ....</b>                                                                                                                                           | <b>63</b> |
| <b>Tabla 12: Pregunta 5. ....</b>                                                                                                                                           | <b>64</b> |
| <b>Tabla 13: Pregunta 1. ....</b>                                                                                                                                           | <b>65</b> |
| <b>Tabla 14: Pregunta 2. ....</b>                                                                                                                                           | <b>66</b> |
| <b>Tabla 15: Pregunta 3. ....</b>                                                                                                                                           | <b>66</b> |
| <b>Tabla 16: Pregunta 4. ....</b>                                                                                                                                           | <b>67</b> |
| <b>Tabla 17: Pregunta 5. ....</b>                                                                                                                                           | <b>68</b> |
| <b>Tabla 18: Pregunta 6. ....</b>                                                                                                                                           | <b>68</b> |
| <b>Tabla 19: Pregunta 7. ....</b>                                                                                                                                           | <b>69</b> |
| <b>Tabla 20: Pregunta 8. ....</b>                                                                                                                                           | <b>70</b> |
| <b>Tabla 21: Pregunta 9. ....</b>                                                                                                                                           | <b>70</b> |
| <b>Tabla 22: Tabla cruzada Internet de las Cosas*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas. ....</b>                                                           | <b>73</b> |
| <b>Tabla 23: Pruebas de chi-cuadrado. ....</b>                                                                                                                              | <b>74</b> |
| <b>Tabla 24: Medidas simétricas. ....</b>                                                                                                                                   | <b>74</b> |
| <b>Tabla 25: Tabla cruzada El internet de las cosas impacta en el consumo de fertilizantes*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas.....</b>                  | <b>76</b> |
| <b>Tabla 26: Pruebas de chi-cuadrado ....</b>                                                                                                                               | <b>77</b> |
| <b>Tabla 27: Medidas simétricas ....</b>                                                                                                                                    | <b>77</b> |
| <b>Tabla 28: Tabla cruzada El internet de las cosas impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas.....</b> | <b>79</b> |

|                                                                                                                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabla 29: Pruebas de chi-cuadrado .....</b>                                                                                                                                                                                 | <b>80</b> |
| <b>Tabla 30: Medidas simétricas .....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>80</b> |
| <b>Tabla 31: Tabla cruzada El internet de las cosas impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas .....</b>                                 | <b>82</b> |
| <b>Tabla 32: Pruebas de chi-cuadrado .....</b>                                                                                                                                                                                 | <b>83</b> |
| <b>Tabla 33: Medidas simétricas .....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>83</b> |
| <b>Tabla 34: Tabla cruzada La implementación de internet de las cosas tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas .....</b> | <b>85</b> |
| <b>Tabla 35: Pruebas de chi-cuadrado .....</b>                                                                                                                                                                                 | <b>86</b> |
| <b>Tabla 36: Medidas simétricas .....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>86</b> |
| <b>Tabla 37: Inversión inicial. ....</b>                                                                                                                                                                                       | <b>87</b> |
| <b>Tabla 38: Costos de fertilizantes.....</b>                                                                                                                                                                                  | <b>88</b> |
| <b>Tabla 39: Proyección del costo de fertilizante.....</b>                                                                                                                                                                     | <b>88</b> |
| <b>Tabla 40: Flujo de Caja.....</b>                                                                                                                                                                                            | <b>89</b> |

## INDICE DE ANEXOS

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Anexo 1: Área del Cultivo. ....</b>                                             | <b>102</b> |
| <b>Anexo 2: Requerimientos de fertilizantes para un cultivo de mandarina. ....</b> | <b>103</b> |
| <b>Anexo 3: Diagrama As Is y To be. ....</b>                                       | <b>104</b> |
| <b>Anexo 4: Interfaz de la Aplicación web vista desde un smartphone. ....</b>      | <b>105</b> |
| <b>Anexo 5: Diseño del sistema de Internet de las Cosas. ....</b>                  | <b>106</b> |
| <b>Anexo 6: Flujo de Node-Red. ....</b>                                            | <b>107</b> |
| <b>Anexo 7: Salida de datos del sensor NPK mediante consola Arduino. ....</b>      | <b>108</b> |
| <b>Anexo 8: Cuestionarios. ....</b>                                                | <b>109</b> |
| <b>Anexo 9: Tabla de base de datos. ....</b>                                       | <b>111</b> |
| <b>Anexo 10: Sensor NPK y puerto. ....</b>                                         | <b>112</b> |
| <b>Anexo 11: Nodo Final .....</b>                                                  | <b>113</b> |
| <b>Anexo 12: Nodo Final .....</b>                                                  | <b>114</b> |



## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedicamos a Dios, quien guía nuestros pasos y a nuestros familiares por su apoyo en nuestro camino profesional y su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros familiares, por su sacrificio y completo apoyo durante nuestra formación universitaria, por sus sabias palabras y por transmitirnos con su ejemplo valores morales que hoy forman parte de nosotros.

A la Universidad San Ignacio de Loyola, en particular a los docentes quienes nos impartieron los conocimientos académicos y experiencias profesionales durante los 5 años de nuestra formación como Ingenieros Informáticos y de Sistemas y al Mg. Jimmy Fajardo Castro por su asesoría en este trabajo de investigación.

Al personal administrativo encargado de la Plantación de cítricos de mandarina en Huaral, por compartir con nosotros sus conocimientos, experiencia y su tiempo; durante el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo proponer un sistema basado en Internet de las Cosas (IOT) que brinde apoyo a la gestión de fertilizantes como consecuencia de una problemática en la agricultura en la región del valle de Huaral sobre el manejo y optimización de los fertilizantes para el cultivo de mandarina (Anexo N°1), el estudio busca aplicar internet de las cosas como una ventaja competitiva debido a la reducción de costos en los fertilizantes además de permitir un manejo mucho más confiable y eficaz de la información.

La implementación de la tecnología en el sector agrícola es conocido como Agricultura de Precisión o Smart Farming; estos conceptos están en tendencia debido a la capacidad de ofrecer al usuario final; el control y análisis de datos en tiempo real.

El presente estudio busca determinar la correlación entre nuestra variable dependiente e independiente y su viabilidad a largo plazo proponiendo una sistema de Internet de las Cosas, con el fin de medir y mostrar la fertilidad del suelo (esto se logra mediante la medición de elementos químicos como el fósforo, potasio y nitrógeno) para apoyar el proceso de fertilización que se realiza mediante el sistema de riego por goteo; se presenta el diseño de la red de la cual se tomarán en cuenta las tecnologías inalámbricas como una solución a la necesidad de transmitir información inmediata y de servicios de almacenamiento en la nube para el alojamiento de la aplicación, la cual brindara información al agricultor sobre el estado de fertilidad del suelo.

Los resultados indicaron que el sistema propuesto generaría beneficios económicos a largo plazo, e impacta en el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas optimizando el consumo de fertilizantes.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to propose a system based on the Internet of Things that provides support to the management of fertilizers as a consequence of a problem in agriculture in the Huaral valley region on the management and optimization of fertilizers for the cultivation of mandarin, the study seeks to apply the internet of things as a competitive advantage due to the reduction of costs in fertilizers in addition to having a more reliable and effective information management.

The implementation of technology in the agricultural sector is known as Precision Agriculture or Smart Farming, these concepts are in trend due to the ability to offer the end user; control and analysis of data in real time.

The present study seeks to determine the correlation between our dependent and independent variable and its long-term viability by proposing an Internet of Things system, in order to measure and show soil fertility (this is achieved by measuring chemical elements such as phosphorus, potassium and nitrogen) to support the fertilization process that is carried out through the drip irrigation system; The design of the network is presented from which wireless technologies will be taken into account as a solution to the need to transmit immediate information and storage services in the cloud to host the application, which will provide information to the farmer about the soil fertility status.

The results indicated that the proposed system would generate long-term economic benefits, and impact on the fertilization process of mandarin plantations, optimizing the consumption of fertilizers.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura reportó un aproximado de 18 047 hectáreas de mandarina que fueron cosechadas en el año 2019 ("Anuario Estadístico de Producción Agrícola", 2020). Por otro lado, el uso de fertilizantes en el año 2016 en el país fue de 127.7 kg/ha según el Grupo Banco mundial. (Consumo de fertilizantes,2020).

El párrafo anterior está relacionado con que cada empresa de plantación de mandarina, dependiendo de la cantidad de hectáreas que posea se ve en la necesidad de adquirir obligatoriamente cierta cantidad de fertilizantes por hectárea, debido al incremento del costo de agua y fertilizantes durante la campaña de cultivo, y surge la necesidad de optimizar estos recursos agrícolas.

En el año 2019 la mayor producción de mandarina se dio en la región de Lima con 247 388 toneladas, siendo esta el 48.74% de la producción nacional y a su vez representa el 42.20% de hectáreas totales en producción del país, por lo que la región de Lima es la más importante en cuanto a la producción de este cítrico. ("Anuario Estadístico de Producción Agrícola", 2020).

Actualmente, las empresas de plantaciones de mandarina en el valle de Huaral tienen la necesidad de contar con información en tiempo real sobre los nutrientes del suelo cultivado, para poder llevar una correcta gestión del uso de fertilizantes a lo largo de la campaña agrícola, debido a que una fertilización excesiva incrementa los costos de producción, tiene un efecto negativo sobre el fruto, contamina el suelo y el agua subterránea,

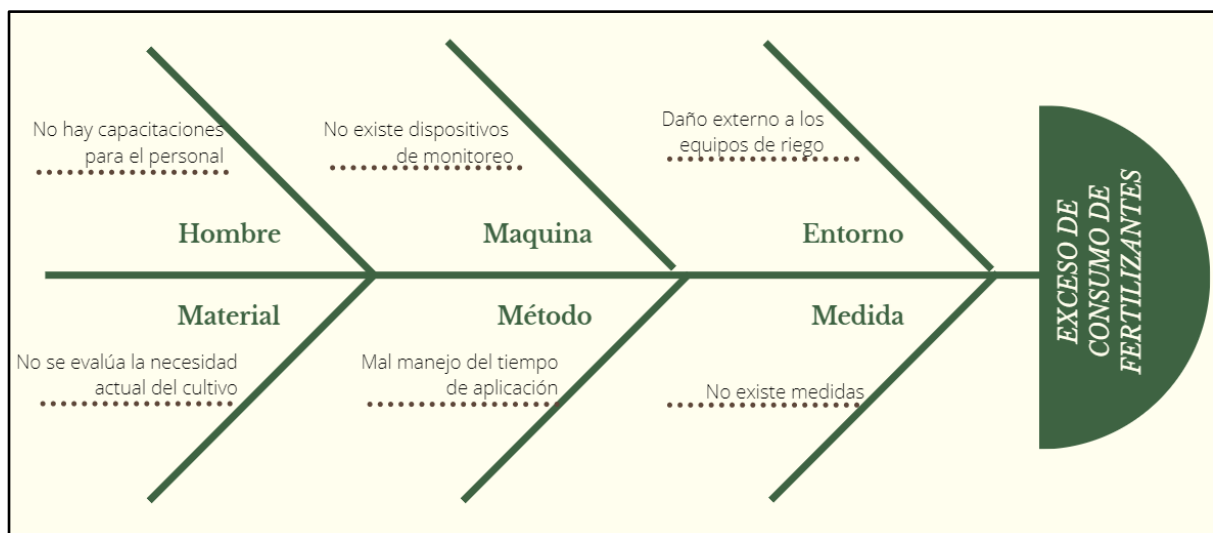
mientras que la deficiencia de algún nutriente esencial en la planta produce una reducción en la productividad y vigor. (SENASA 2020)

En el contexto del problema, el proceso de distribución de nutrientes y agua en la plantación de mandarina se realiza a través de la técnica de riego por goteo la cual permite controlar la cantidad de fertilizante y agua, el requerimiento de fertilizantes esta detallado en el Anexo N°2.

En resumen, se identifican que los principales problemas son la falta de eficiencia en el uso de fertilizantes y la carencia de un proceso de control apropiado para la gestión, lo que da como resultado un sobre costo en la producción de mandarinas debido a que se utilizan recursos en exceso.

A continuación, usamos el diagrama de Ishikawa como una herramienta para ayudarnos a encontrar nuestro problema principal.

**Figura 1: Diagrama Ishikawa**



*Fuente: Elaboración Propia*

Así mismo analizamos las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tiene la empresa y su entorno para poder desarrollar decisiones estratégicas y el desempeño del negocio con el fin de mejorar en el futuro.

**Figura 2: Diagrama-FODA**



*Fuente: Elaboración Propia*

La implementación de internet de las cosas y uso de sensores en la agricultura logró reducir el consumo de agua en un 35.7% utilizados en la programación de riegos por goteo (Almarshadi & Ismail, 2011) y un ahorro del 5% en fertilizantes en plantaciones de bananos (Alcaraz et al., 2018). Por lo tanto, la implementación de estas nuevas tecnologías es factible en el mercado agrícola ya que traen como consecuencia una reducción del uso de fertilizantes, agua y energía (Barriga Pons, 2019).

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **Problema General**

¿Cuál es la relación entre el uso del internet de las cosas y el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina?

### **Problemas Específicos**

1. ¿Qué relación existe entre la implementación del internet de las cosas y el consumo de fertilizantes de plantaciones de mandarina?
2. ¿Cuál es la relación entre la implementación del internet de las cosas y la cantidad de aplicaciones de fertilizante en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina?
3. ¿Qué relación hay entre el internet de las cosas y el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización de plantaciones de mandarina?
4. ¿Qué relación existe entre el beneficio económico de la implementación de internet de las cosas y el proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas?



## **MARCO REFERENCIAL**

A continuación, veremos algunos casos para conocer más a detalle el contexto en el cual se desarrolla esta tesis, con autores que son de interés para nuestro tema a desarrollar.

Debido a la relevancia de los estudios, que nos aportan conocimientos y resultados ya evaluados, comenzaremos este capítulo.

### **Antecedentes Internacionales:**

Mora (2020) desarrolló en su investigación modelos de sensores para analizar la variabilidad en la productividad de un campo de cultivo en el municipio de Tala en el estado de Jalisco, país de México; el cual tuvo como objetivo general la implementación de nodos inalámbricos que permitan la recolección y transmisión de datos.

Los objetivos específicos fueron:

1. El desarrollo de un prototipo base del nodo para la obtención de variables a ser medidas.
2. Desarrollar un prototipo base del nodo de comunicación, para el envío de la información obtenida a un servicio web mediante la red GSM.
3. Desarrollo de las librerías necesarias para programar la interfaz de comunicación entre los nodos.
4. Construcción del nodo de comunicación y de cuatro nodos de recolección de información.
5. Realizar las pruebas de funcionamiento en campo de los nodos con autonomía energética.

6. Desplegar los dispositivos en un campo de prueba y realizar un informe de desempeño.

Los resultados obtenidos para los objetivos específicos dan la posibilidad del desarrollo e implementación de esta tecnología gracias a que brinda confiabilidad de datos y autonomía energética en los sensores desplegados debido a que se desarrolló un algoritmo que permite ahorrar 276 mA (miliamperes) en el nodo Base y 81.81 mA (miliamperes) en los sensores, teniendo como oportunidad de mejorar el desarrollo de una placa base que integre un mayor número de periféricos, el agregar un elemento de comunicación satelital, mejorar la usabilidad de la interfaz de configuración de la red de sensores inalámbricos y la creación de nuevos módulos para agregar nuevos sensores tales como potencial hídrico en suelos, temperatura de la planta, etc.

Cambra (2019) Investigó el desarrollo de una aplicación multimedia en la agricultura de precisión en el municipio Lalueza, provincia de Huesca en España, teniendo como objetivo dar soluciones tecnológicas a los procesos agrícolas esenciales como el riego, por lo cual investigó el desarrollo de controladores y estándares de protocolos de comunicación, enfocándose especialmente en este último, aplicado en las diferentes redes inalámbricas de sensores, también se desarrollaron las técnicas de aprendizaje en redes neurales para la predicción de necesidad de riego y por último desarrollaron la divulgación de datos e intercambio de opiniones a través de una red social.

En conclusión, la aplicación del uso de tecnologías en la agricultura resulta eficiente, debido a que se logró enviar y recibir información de los sensores con un leve uso de energía, logrando la automatización del proceso de riego.

Tennevall y Hultgren (2019) realizaron un estudio del ahorro de recursos mediante el uso de agricultura inteligente en un laboratorio casero en Suecia. Los principales objetivos de este reporte y experimento fueron:

1. Trabajar un prototipo, el cual muestre la información recolectada en una página web.
2. Completar las fases del experimento.
3. Resultado de los datos analizados.
4. Conclusiones basadas en los resultados de los análisis de datos.
5. Responder cada pregunta de investigación con respuestas bien fundamentadas.

La metodología de estudio fue muestreo de bola de nieve, el cual identifica y elige literatura relevante para desarrollar su investigación. Dentro de esta investigación se desarrolló un prototipo para calcular el valor promedio y monitorear los niveles de humedad del suelo para su posterior riego cuando sea necesario. Esto fue comparado con una maceta de riego manual para investigar si Agritech (Agricultura Inteligente desarrollada por Tennevall y Hultgren) podría reducir el uso de agua al mantener las plantas monitoreadas.

Se concluye que el uso de recursos puede ser reducido con la ayuda de Agritech. En el pequeño huerto se logró reducir en más del 64% el tiempo dedicado al mantenimiento usando internet de las cosas, además se puede optimizar el uso del agua si el Agritech es usado apropiadamente.

Para futuros trabajos recomiendan que se tome más tiempo e incrementar la cantidad de plantas evaluadas, también se recomienda añadir más sensores para obtener más datos a procesar.

Wong (2018) planteo un diseño de soluciones usando internet de las cosas para agricultores de pequeña y mediana escala en cultivos de palta en la ciudad de San Diego, estado de California de los Estados Unidos. El objetivo de este estudio fue realizar una investigación de usuario para abordar tres preguntas de investigación, que son las siguientes:

1. ¿Cuál es el mercado piloto apropiado para el sistema de sensores de suelo SoilSense (Sistema de irrigación inteligente)?
2. ¿Cuáles son las diferencias y los puntos débiles de las actuales tecnologías de sensores de suelo en relación con las necesidades únicas de los usuarios de los pequeños y medianos agricultores?
3. ¿Qué instrumentos y características son útiles para que los agricultores de pequeña y mediana escala aumenten el rendimiento de los cultivos e impulsen una mayor eficiencia en el uso del agua?

El diseño de este estudio fue información cuantitativa y cualitativa de múltiples fuentes. Los datos de los usuarios se recogieron mediante entrevistas en persona y visitas a las granjas entre 1 a 3 horas. Las entrevistas dieron como resultados los múltiples desafíos que rodean la programación de irrigación, eficiencia de agua y costos de agua para cultivos de gran valor con una demanda creciente en el mercado.

En respuesta a la segunda pregunta de investigación sobre las diferencias y puntos débiles de las actuales tecnologías de sensores del suelo existen en dos extremos de rango; el primer rango, las soluciones son demasiadas caras y complejas para los agricultores con escasa superficie para justificar la compra; el segundo rango, las soluciones son asequibles, pero demasiadas simplistas, privando a los agricultores de información crítica para mejorar la eficiencia del riego en su granja.

Por último, respecto a la tercera pregunta dio como resultado que entre los principales instrumentos y características para ayudar a los pequeños y medianos agricultores a aumentar el rendimiento de los cultivos e impulsar una mayor eficiencia en el uso del agua, son las mediciones precisas de la humedad del suelo, las mediciones de la salinidad con un sensor de suelo fiable y buenos datos meteorológicos de fuentes locales coherentes.

Nugroho (2016) realizó un entorno de trabajo (Framework) para el desarrollo de la agricultura inteligente y su aplicación en la horticultura tradicional en la ciudad de Yogyakarta, Indonesia. Los principales objetivos fueron:

1. Analizar el estado del arte de la agricultura de precisión en la horticultura tropical.
2. Presentar el desarrollo y evaluación de la vigilancia del medio ambiente bajo redes inestables.
3. Estimación de la evapotranspiración en tiempo real para la evaluación ambiental rápida.
4. Aplicación práctica del control ambiental.
5. Vigilancia y evaluación de las plantas.

El resultado del primer objetivo tuvo como análisis las tecnologías claves y del estado de arte en la agricultura de precisión, computación en la nube, monitoreo ambiental, los sistemas actuales, técnicas y enfoques en la agricultura inteligente mediante la aplicación de computación en la nube para apoyar el servicio flexible en proveer información en tiempo real.

En el segundo objetivo se concluyó que el framework podría ayudar a mantener la sostenibilidad de monitoreo ambiental en conexión de red inestable sobre el 80%.

En el tercer objetivo se presentó el desarrollo del cómputo en tiempo real, se pudo cartografiar el progreso de la evapotranspiración en el rango de 0-0,7 mm/h (milímetros por hora), el período crítico de alta evapotranspiración mayor a 0,5 mm/h (milímetros por hora) ( $E_{To} > 0,5$  mm/h) fue de 09:30 a 14:30.

En el cuarto objetivo se obtuvo que el sistema de control de riego tiene un error (E) de 0,78 % y un 99,2 % en rango admisible, bajo un control de punto de ajuste alto (U) y bajo (L) ( $L < \text{rango admisible} < U$ ) durante los 10 días de observación.

En el último objetivo, la distancia de traslación (V) y el ángulo de dirección ( $\theta$ ) se utilizaron para representar el movimiento de las hojas, el movimiento lateral de la hoja tiene

un ciclo periódico de 24,54 h (horas) y puede utilizarse como rastreador del ritmo circadiano en el follaje de plantas maduras.

### **Antecedentes Nacionales:**

Lanchipa y Acero (2019) realizaron una investigación acerca de la implementación de un sistema basado en internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna, en una parcela de cultivos de olivo, ubicado en el sector agrario de la Yarada- Los Palos.

Los objetivos de este estudio fueron:

1. Determinar como la implementación de un sistema de internet de las cosas optimiza el uso de agua en la agricultura.
2. Evaluar la efectividad de un sistema basado en internet de las cosas en la agricultura.

El diseño de este estudio es aplicado, ya que soluciona problemas prácticos, buscando nuevos conocimientos para poder ser aplicados en el campo de la ingeniería.

Se contó con una parcela de cultivo de olivo de aproximadamente 3535 m<sup>2</sup> (metros cuadrados), con un reservorio de 600,000 litros de agua aproximadamente. Se hace uso de Damla (Sistema basado en internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura) para evaluar la efectividad del riego se basó en los datos capturados por el sensor de radiación UV, sensor de humedad de suelo, sensor de humedad del aire y sensor de temperatura ambiente. Los datos son procesados para determinar el tiempo efectivo de riego en el cultivo.

Se concluyó que un sistema basado en internet de las cosas reduce un 21.25% el tiempo de riego efectivo del cultivo y optimiza la gestión del agua en la agricultura, debido a que las horas de riego están directamente relacionadas al agua utilizada para el riego.

Se recomienda capacitar a los agricultores en tecnologías de riego basadas en internet de las cosas como Damla.

León (2019) Investigó acerca del impacto de un sistema automático de monitoreo de mercurio en tiempo real en aguas aledañas a Explotaciones Mineras y Petroleras usando una plataforma de internet de las cosas (IOT por sus siglas en inglés) teniendo como lugar de desarrollo la zona selva del Perú.

El objetivo principal fue diseñar un sistema automático de detección, en tiempo real, de metales pesados presentes en el agua utilizando una plataforma en la nube para su almacenamiento y correspondiente procesamiento, de tal manera que las entidades reguladoras correspondientes puedan acceder a información real y oportuna para la toma de decisiones correctivas a las normas vigentes.

Para diseñar un concepto de solución, se elaboró una matriz morfológica para las funciones definidas y así analizar las opciones con las que se cuentan para el diseño del sistema.

De acuerdo a las propuestas de solución realizadas por el autor llamadas “Solución A”, “Solución B” y “Solución C”, mediante una evaluación técnica-económica la propuesta más óptima y elegida como la solución final para el desarrollo de la tesis fue la “Solución A” el cual presentó un nodo sensor, nodo Gateway y una plataforma en la nube, esta alternativa se diferencia de la “Solución B” al implementar un microcontrolador (más económico que una computadora) tanto en el nodo sensor como en el nodo Gateway y la diferencia con la “Solución C” se ve enfocado en la presentación de los datos a través de gráficos.

En conclusión, la medición en tiempo real de este sistema da un paso para reemplazar el monitoreo manual, reduciendo los costos de procesamiento en un laboratorio y teniendo guardado los cambios en los niveles de contaminación en el agua.

Su principal logro es diseñar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real de mercurio en aguas aledañas a explotaciones mineras y petroleras usando una plataforma en la

nube, reduciendo los costos de procesamiento en un laboratorio y almacenando los datos históricos de los niveles de contaminación en el agua.

Se recomienda, para evitar la saturación del sensor del mercurio, la innovación de un método para poder limpiarlo y así continuar con el funcionamiento del sistema.

Coha (2013), su investigación consiste en la elaboración del diseño de un sistema de monitoreo inalámbrico que suministra información al agricultor de las condiciones del piñón blanco en Tarapoto en la región de San Martín. Los objetivos fueron:

1. Optimizar el desarrollo y la producción del piñón blanco.
2. Monitorear continuamente la humedad del suelo y la temperatura ambiental.
3. Diseñar una red inalámbrica de sensores confiables, eficaces y de menor costo.

En el diseño de red de sensores inalámbricos desplegado en el terreno, se ha considerado ubicar los nodos formando una topología clúster o árbol debido al bajo coste de implementación; el procedimiento fue utilizar un programa en Labview (Software de diseño de sistemas de control) que simuló la parte de control de la electroválvula, la cual solo se encenderá cuando la temperatura es alta y la humedad baja (Temperatura  $\geq 36^{\circ}$  Celsius y Humedad  $\leq 24\%$ ) caso contrario se desactiva.

Por último, se concluyó en el diseño de un prototipo de red inalámbrica tipo árbol basada en el estándar Zigbee (Protocolo de comunicación inalámbrica), las cuales determinaron el encendido y apagado de la electroválvula que puede ser utilizado en múltiples productos agrícolas.

Las recomendaciones del investigador es utilizar varios modelos de módulos Xbee (radio transceptor) como el modelo Xbee PRO S2, el cual tiene mayor cobertura, como consecuencia de ello, se necesitaría un menor número de módulos.



Valdiviezo (2009) realizó una investigación acerca del diseño de una red de sensores inalámbricos para agricultura de precisión, esta investigación fue desarrollada en España orientada a la agricultura peruana. El objetivo de esta investigación fue diseñar e implementar una red de sensores inalámbrica con alta usabilidad que permita medir aquellas variables que son sensibles en términos de calidad del cultivo y del ahorro de capital optimizando la utilización y racionalización de fertilizantes. Dicha red deberá presentar la información de una manera amigable. La metodología fue experimental debido a que las pruebas fueron realizadas en laboratorios simulando la red de sensores y probando su conectividad.

Los resultados arrojaron que el protocolo, en pruebas de laboratorio, demostró ser bastante eficaz tanto en la fiabilidad de la información entregada como en la administración de energía de la red.

En conclusión, se comprobó la viabilidad y flexibilidad de estos esquemas de red en cualquier aplicación que lo requiera.

Huapaya (2007) realizó un estudio del diseño de una red de sensores inalámbrica para un área de cultivo frutícola en una ONG ubicada en el valle de Mala, Distrito de Cañete. Los objetivos de esta investigación fueron:

1. Determinar si una red de sensores inalámbricos es la solución ante la necesidad planteada.
2. Proponer una solución tecnológica de telecomunicaciones adecuada para un área de cultivo en estudio acorde con la realidad nacional.

Según el estudio, se conversó con el personal administrativo de la ONG en Lima y se realizaron visitas con el objetivo de conocer sus procedimientos en el área de cultivo y las necesidades que presentan al medir la capacidad de campo, el punto de marchitez, el acceso a la internet, entre otras; en base al método de observación directa se recolectó información para

el diseño de la red de sensores.

Los componentes seleccionados tanto software y hardware necesarios para el diseño de la red de sensores inalámbrica en el área de cómputo de la ONG fueron un computador con el sistema operativo Windows XP o GNU/Linux con 512 MB de RAM y un kit de desarrollo comercial de Crossbow (Empresa fabricantes de nodos de censado inalámbrico).

Se concluyó que el diseño de la red de sensores inalámbrica basada en los equipos de Crossbow, se presentan como una solución factible frente a otras empresas ya que nos permiten medir algunas variables como la temperatura y humedad del suelo; el costo de implementación tecnológica fue de \$ 4 919.486 (dólares).

## **Estado del Arte:**

En esta sección se explicarán algunos diseños de soluciones planteados por autores que aportan información importante para nuestro tema a desarrollar.

### **Análisis de la Humedad y Suelo NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) Usando Redes de Sensores Inalámbricos**

Según Madhumathi et al., 2020 la información expuesta a continuación provee un panorama de cómo se encuentra la situación actual de las últimas tecnologías usadas relacionadas a la problemática descrita, se encontró información sobre sensores o dispositivos para medir los nutrientes del suelo.

El objetivo de este artículo es proponer un sistema basado en Internet de las cosas (IoT) en la India, que le permita al agricultor tener el control sobre la fertilidad, humedad, pH y temperatura del suelo, ya que estos mismos son importantes para el desarrollo del cultivo.

En el contexto desarrollado del artículo comenta que las pruebas en laboratorio, para el análisis de los factores ya mencionados, se tomó un periodo de tiempo amplio, por lo que la propuesta desarrollada es factible.

Se utilizaron cuatro muestras de diferentes tipos de suelos para la medición de los datos y comparar el nivel de nitrógeno con la tabla 1, el nivel de fósforo con la tabla 2 y el nivel de potasio con la tabla 3.

**Tabla 1:** *Rango de Fertilizantes para el Nitrógeno en el Suelo.*

| <b>Rango de Fertilidad para el Nitrógeno</b> |                                                     |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Nivel</b>                                 | <b>Rango (Kilogramos de Nitrógeno por hectárea)</b> |
| Bajo                                         | 0 – 280 kg N/ha                                     |
| Medio                                        | 280 – 450 kg N/ha                                   |
| Alto                                         | >450 kg N/ha                                        |

*Fuente: R. Madhumathi, T. Arumuganathan and R. Shruthi, "Soil NPK and Moisture analysis using Wireless Sensor Networks (2020).*

**Tabla 2:** *Rango de Fertilizantes para el Fósforo en el Suelo.*

| <b>Rango de Fertilidad para el Fósforo</b> |                                                  |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Nivel</b>                               | <b>Rango (Kilogramo de fósforo por hectárea)</b> |
| Bajo                                       | 0 – 11 kg P/ha                                   |
| Medio                                      | 11 – 22 kg P/ha                                  |
| Alto                                       | >22 kg P/ha                                      |

*Fuente: R. Madhumathi, T. Arumuganathan and R. Shruthi, "Soil NPK and Moisture analysis using Wireless Sensor Networks" (2020).*

**Tabla 3:** *Rango de Fertilizantes para el Potasio en el Suelo.*

| <b>Rango de Fertilidad para el Potasio</b> |                                                   |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Nivel</b>                               | <b>Rango (Kilogramos de Potasio por hectárea)</b> |
| Bajo                                       | 0 – 118 kg K/ha                                   |
| Medio                                      | 118 – 280 kg K/ha                                 |
| Alto                                       | >280kg K/ha                                       |

*Fuente: R. Madhumathi, T. Arumuganathan and R. Shruthi, "Soil NPK and Moisture analysis using Wireless Sensor Networks (2020).*

Los sensores de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) sirven para medir la cantidad de dichos elementos, cada elemento mencionado tiene diferentes usos, como los siguientes:

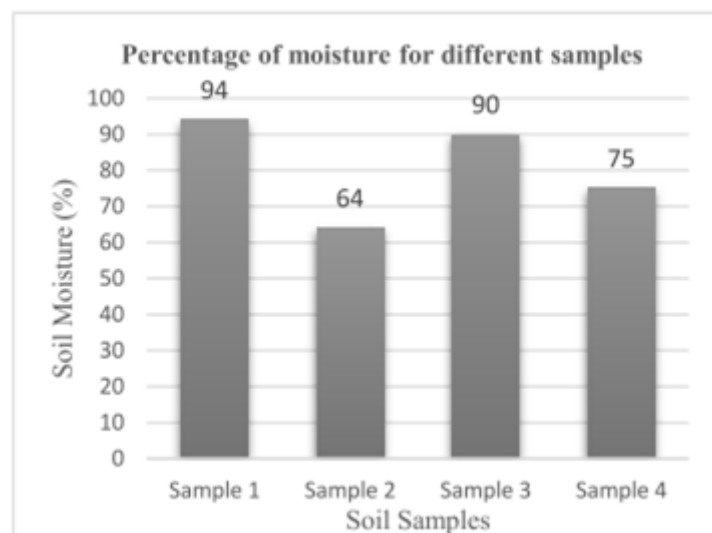
- Nitrógeno: Ayuda en promover el crecimiento de follaje y vegetación, teniendo un rol importante en la fotosíntesis y la producción de proteínas
- Fósforo: Ayuda a promover el crecimiento de la raíz y sobrevivir a climas desfavorables.
- Potasio: Ayuda en promover la fructificación, la floración y la translocación de los azúcares.

El sensor de humedad del suelo es utilizado mayormente para medir el contenido volumétrico del agua en el suelo, propiedades del suelo y resistencia eléctrica, esta última se puede determinar basándose en la medida de humedad. Los valores de la humedad se obtienen insertando el sensor en el suelo y los datos obtenidos del sensor actúan como un sistema de apoyo para que el agricultor gestione su sistema de riego de manera más eficaz.

Así pues, la agricultura de precisión hace que las prácticas agrícolas sean más precisas al proporcionar datos en tiempo real.

En la figura 3, se visualizan los porcentajes promedios de humedad de cada muestra tomada.

**Figura 3:** *Porcentaje de humedad del suelo para diferentes muestras*



*Fuente: R. Madhumathi, T. Arumuganathan and R. Shruthi, "Soil NPK and Moisture analysis using Wireless Sensor Networks" (2020).*

En la tabla 4 se muestra el resultado de los nutrientes NPK comparadas con las tablas 1, 2 y 3, teniendo como fin recomendar al usuario los fertilizantes que necesita el cultivo.

**Tabla 4:** *Valores de Nutrientes para Diferentes Muestras.*

| <b>Muestra</b> | <b>Nitrógeno (N)</b> | <b>Fósforo (P)</b> | <b>Potasio (K)</b> |
|----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| <b>1</b>       | Low                  | Medium             | Low                |
| <b>2</b>       | Medium               | Low                | Low                |
| <b>3</b>       | Low                  | High               | Medium             |
| <b>4</b>       | High                 | Medium             | Medium             |

*Fuente: R. Madhumathi, T. Arumuganathan and R. Shruthi, "Soil NPK and Moisture analysis using Wireless Sensor Networks" (2020).*

Esta tecnología es aplicada al proceso de fertilización ya que brinda datos que ayudan a monitorear los nutrientes necesarios para maximizar el rendimiento de los cultivos, esta tecnología usa cuatro tipos de sensores (humedad, pH, NPK y temperatura), las cuales nos aportan los datos en tiempo real para un manejo de acuerdo a las necesidades que tiene el cultivo.

Los beneficios que trae esta tecnología es minimizar el uso excesivo de fertilizantes, por lo tanto, un ahorro en consumo de fertilizantes y maximizar el rendimiento de los mismos, con el desarrollo de esta tecnología mejora la precisión de los resultados obtenidos en el cultivo, lo que hace más eficiente el proceso de producción.

En conclusión, el sistema monitorea e informa, en tiempo real, la humedad del suelo, los valores de NPK, PH y temperatura, junto con una aplicación móvil que muestra los valores medidos y proporciona recomendaciones de fertilizantes para el cultivo deseado.

### **Gestión de la Calidad del Suelo Usando Redes de Sensores Inalámbricos**

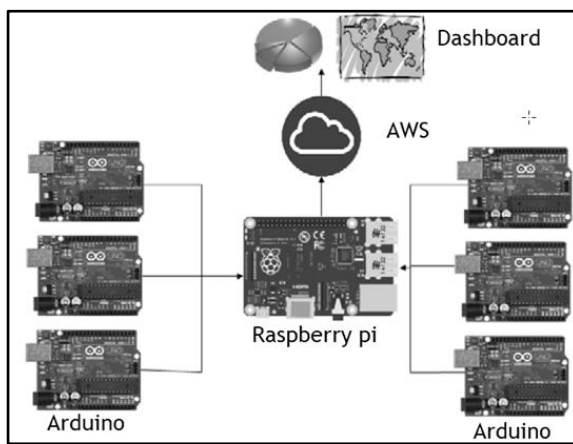
Según Madhura et al., 2018 este artículo tiene como objetivo dar a entender las diversas aplicaciones de una WSN (red de sensores inalámbricos) relacionadas a la vigilancia de los parámetros del suelo en la India.

#### Diseño del sistema

La figura 4 muestra el diseño general del sistema propuesto, el diseño consiste de muchas placas Arduino UNO (microcontroladores) que sirven de nodo sensor y comunican a un Raspberry Pi (central de procesamiento) el cual actúa como un nodo Gateway y este a su vez envía la información a la nube para su procesamiento. La plataforma en la nube elegida fue AWS (Amazon Web Services) y los resultados fueron mostrados mediante gráficos y mapas.



**Figura 4:** *Diseño del sistema de gestión de la calidad del suelo*

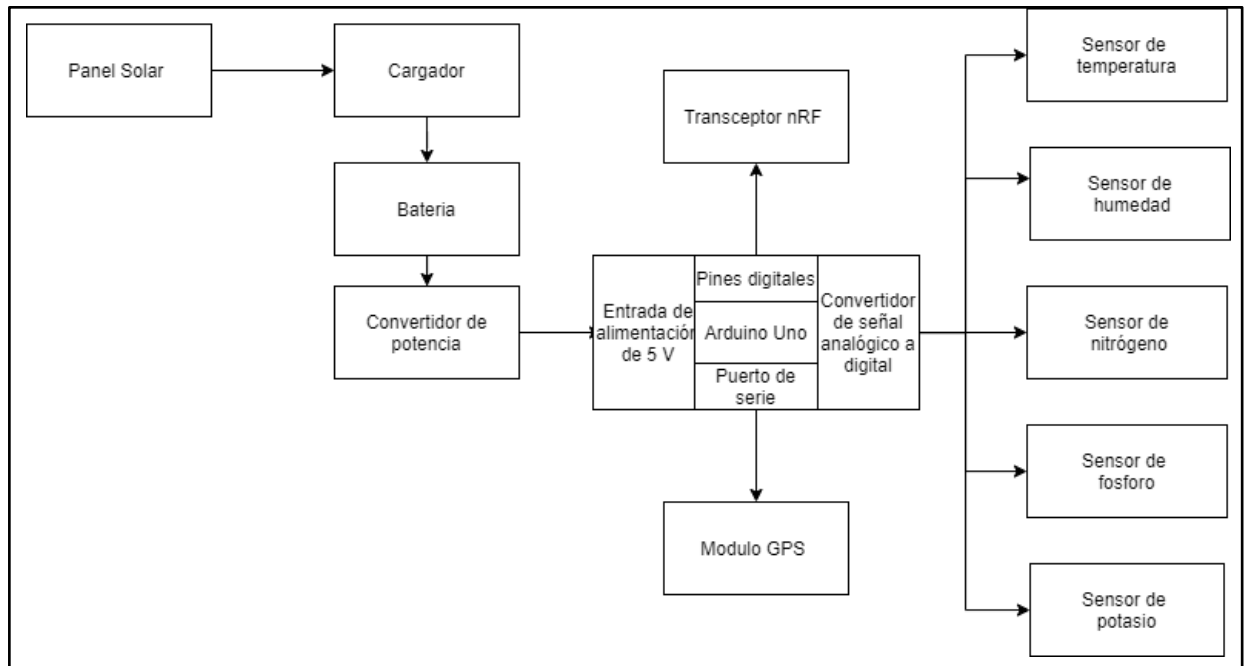


*Fuente: U. K. Madhura, P. Akshay, A. J. Bhattad and G. S. Nagaraja, "Soil Quality Management Using Wireless Sensor Network" 2017.*

#### Diseño del nodo sensor

Los nodos sensores conforman la WSN, estos nodos consisten de un Arduino UNO conectado a varios sensores, un módulo GPS, un transceptor y un panel solar con batería, como se muestra en la figura 5. Los sensores se encuentran conectados a los puertos análogos del Arduino.

**Figura 5:** *Diseño del Nodo Sensor*

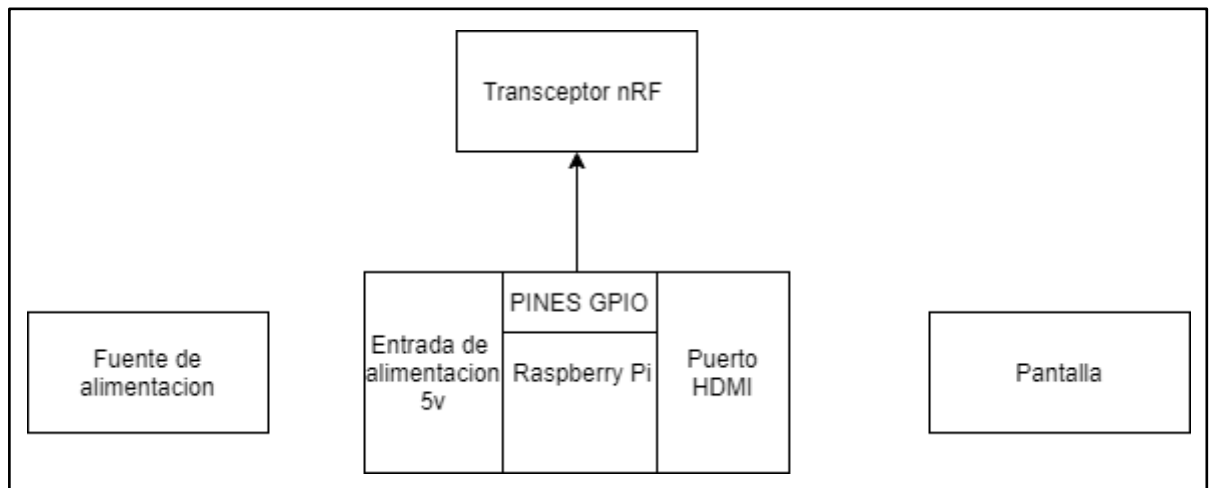


*Fuente: U. K. Madhura, P. Akshay, A. J. Bhattad and G. S. Nagaraja, "Soil Quality Management Using Wireless Sensor Network" 2017.*

### Diseño del Nodo Gateway

El nodo Gateway está conformado por un Raspberry Pi, este dispositivo es un computador del tamaño de una tarjeta de crédito, el cual incluye un CPU (unidad central de procesamiento) y un GPU (unidad de procesamiento gráfico) que es compatible con la arquitectura ARM (Máquina de cómputo avanzada con conjunto de instrucciones reducidos). El diseño del nodo Gateway es mostrado en la figura 6.

**Figura 6:** *Arquitectura de los datos del nodo de la puerta de enlace.*

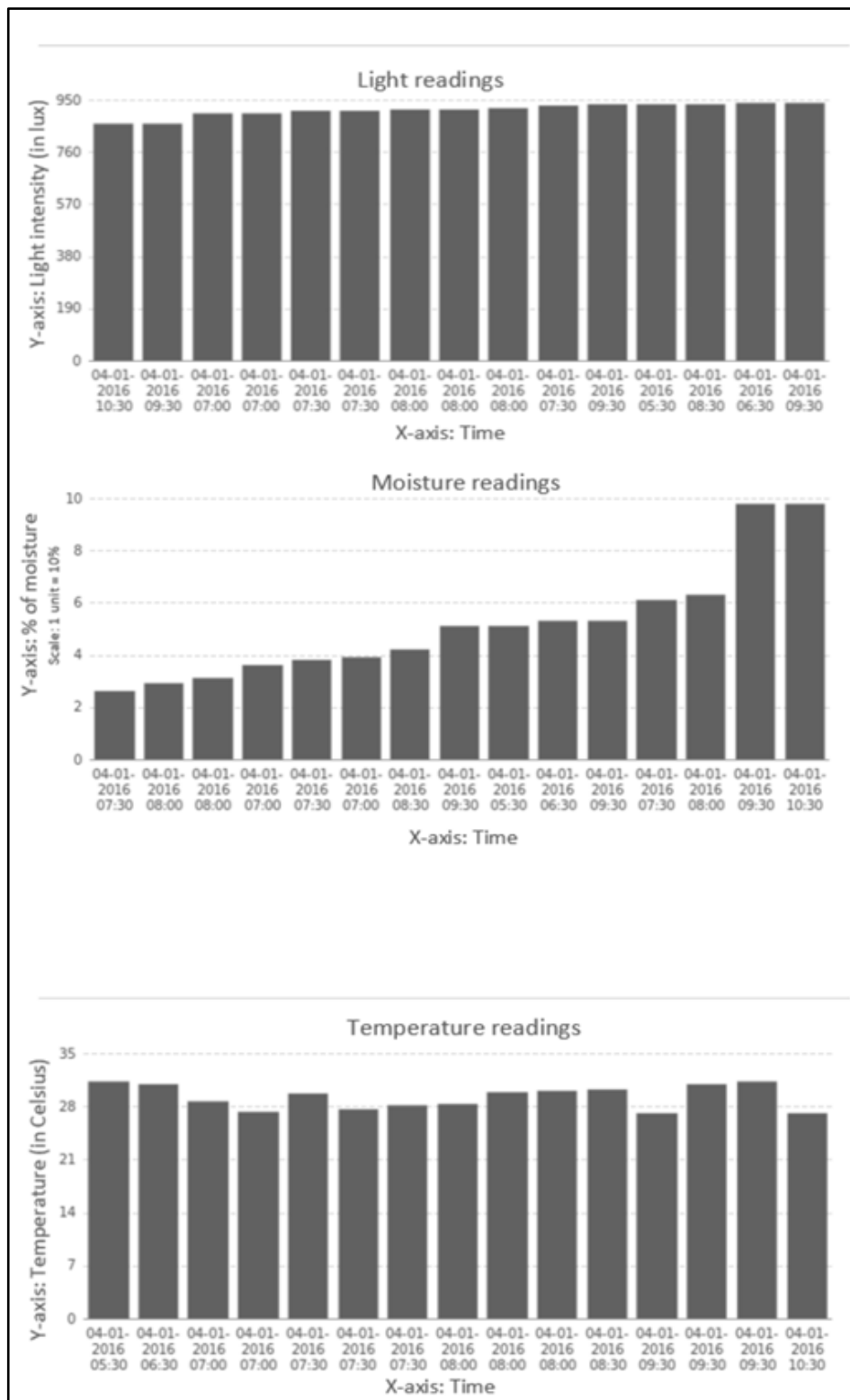


*Fuente: Elaboración Propia, basado en "Soil Quality Management Using Wireless Sensor Network" 2017.*

El intervalo de tiempo en el que se recogen los datos de los nodos sensores puede variar de un minuto a un día, dependiendo de la necesidad.

La información en la nube es usada para generar gráficos, los cuales son mostrados en una interfaz de usuario. Ejemplos de los gráficos de las lecturas de luz, humedad y temperatura son mostrados en la siguiente figura 7.

**Figura 7:** Gráficos de las lecturas de luz, humedad y temperatura cargados en la base de datos



Fuente: U. K. Madhura, P. Akshay, A. J. Bhattad and G. S. Nagaraja, "Soil Quality Management Using Wireless Sensor Network" 2017

La propuesta está concebida para mejorar los rendimientos del sector agrícola. El sistema toma en cuenta el contenido existente de nutrientes, realiza un análisis de los datos recolectados y ofrece sugerencias adecuadas con respecto a las necesidades del cultivo.

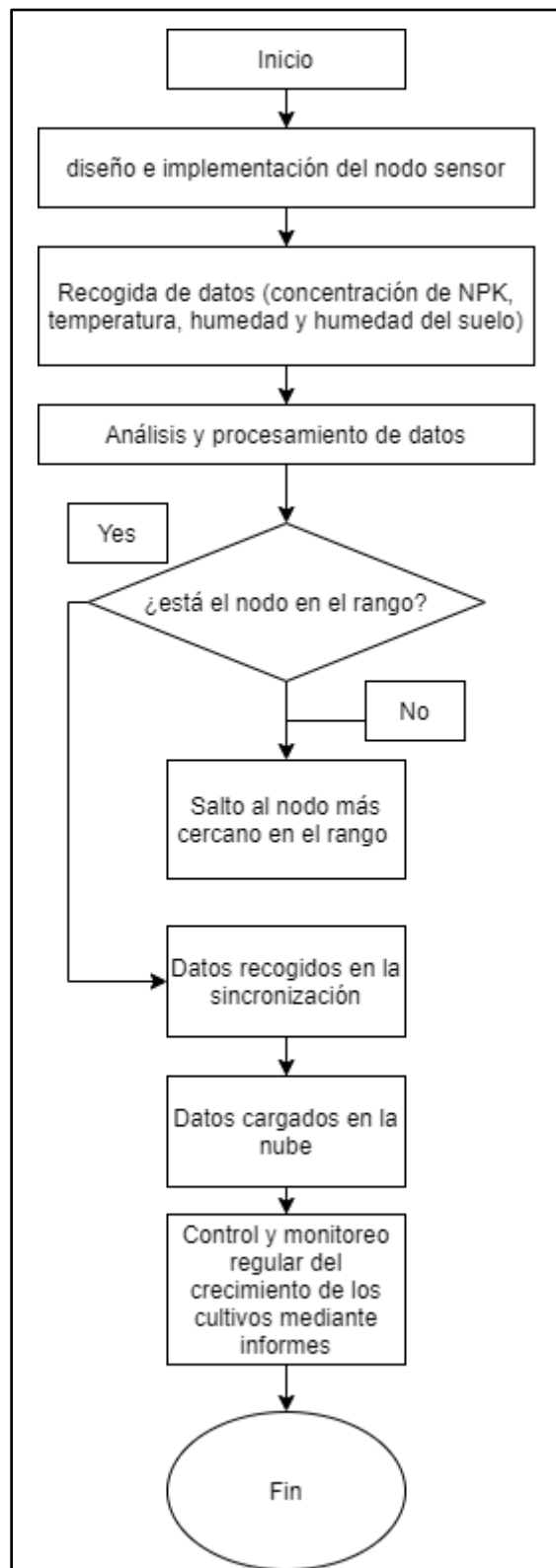
Este diseño y configuración de nodos permite aplicar y mejorar el proceso de monitorización de cultivos, a su vez muestra la factibilidad de implementación y los dispositivos que se pueden usar de referencia.

El beneficio está directamente relacionado con la fertilización, mostrando la información correcta de los nutrientes necesarios, este diseño también muestra los dispositivos que brindan un bajo costo de implementación.

### **Un nuevo Framework para Monitoreo de Agricultura Inteligente Usando Internet de las Cosas**

Según Ghanshala et al., 2018 este artículo tiene como objetivo dar un enfoque de monitoreo inteligente al cultivo a través de internet de las cosas (IoT) en la India, ya que el método tradicional de monitoreo es ineficiente y no permite aprovechar los recursos eficientemente, el sistema que se propuso esta no solo enfocado en el riego sino también en la medición de nutrientes del suelo, humedad y temperatura, el diagrama de flujo del sistema está mostrado en la figura 8.

**Figura 8:** Diagrama de Flujo del sistema.



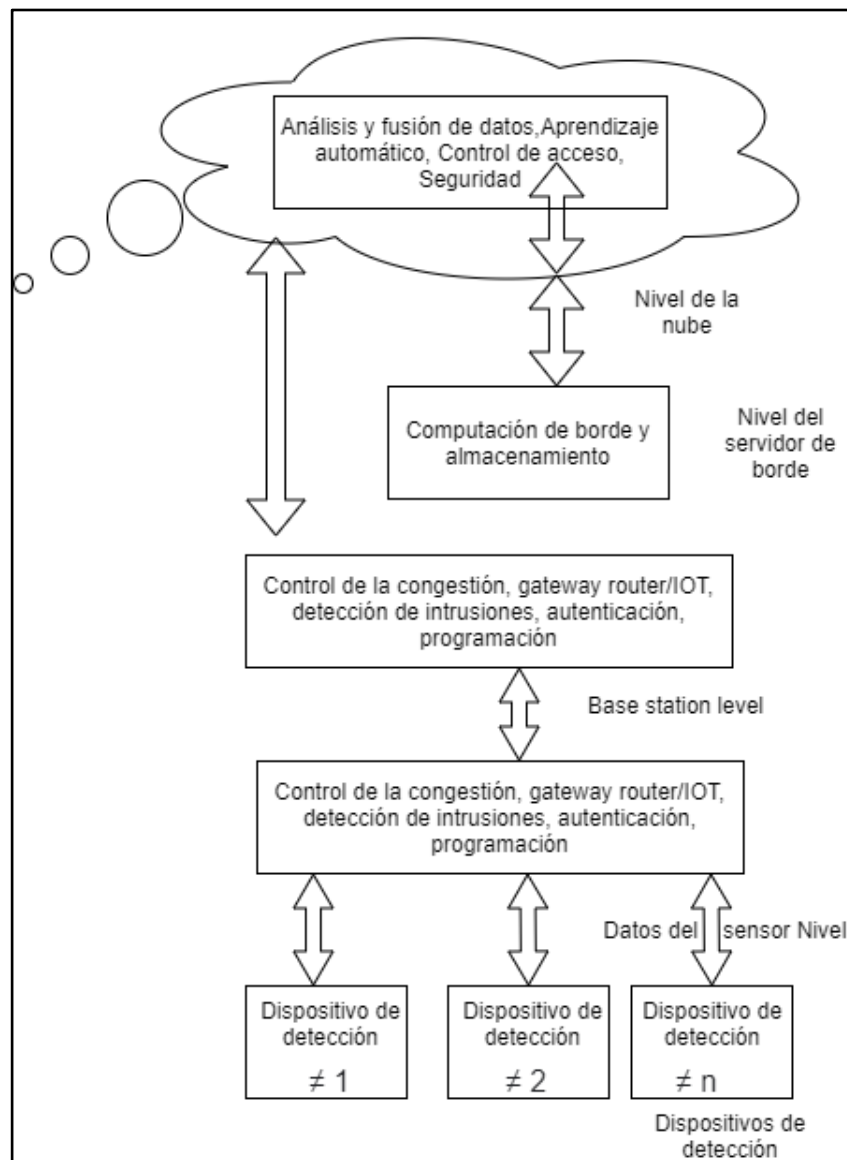
Fuente: Elaboración Propia, basado en C. Joshi, "A Novel Framework for Smart Crop Monitoring Using Internet of Things (IoT)" (2018).

Se tomó como caso de estudio 10 campos diferentes, de los cuales cada campo posee un nodo sensor, estos se comunican a uno en común de forma inalámbrica usando Zigbee, el nodo Gateway, el cual posee la tecnología Zigbee y Wifi, permite recibir los datos de los sensores a través del estándar IEEE 802.15.4 de Zigbee y enviar estos datos hacia el servidor perimetral con el estándar IEEE 802.11 b/g/n que posee el módulo wifi ESP8266

El framework propuesto posee 4 niveles de arquitectura mostrados en la figura 9, los cuales son:

1. Nivel dispositivos sensores: en este nivel los datos son medidos y procesados.
2. Nivel de datos de sensor: se otorga acceso solo a personas autorizadas y se aplican técnicas de ahorro de energía.
3. Nivel de estación base: se realiza el enrutamiento, el control de la congestión y la programación del tráfico, los datos que necesitan rápida respuesta para el procesamiento son enviados al servidor perimetral y las que no lo necesitan son enviadas directamente a la nube.
4. Nivel de servidor perimetral y servidor en la nube, el servidor perimetral aumenta la confiabilidad y rapidez del sistema mientras que el servidor en la nube asegura el análisis e implementación de técnicas de aprendizaje automático, a partir de los datos procesados se genera informes de nutrientes del suelo para el agricultor.

**Figura 9:** Marco propuesto para diferentes niveles de datos.



*Fuente: Elaboración Propia, basado en "A Novel Framework for Smart Crop Monitoring Using Internet of Things (IoT)" (2018)*

En este artículo se proponen 4 niveles de tratamiento de datos para tener una alta eficacia y seguridad en la medición de los nutrientes del suelo. Este framework impacta en el diseño del sistema de medición de nutrientes y este a su vez en el proceso de fertilización, mejorando la toma de datos de los nutrientes, integridad y asegurando la respuesta eficiente.



En conclusión, este framework se enfoca principalmente en los nutrientes del suelo, aprovecha la rapidez del servidor perimetral y el procesamiento superior del servidor en la nube, el resultado es la aplicación más eficientemente del análisis de datos y por ende mejores reportes para el usuario final.

## **Marco Teórico**

En el presente capítulo se abordan los conceptos del sistema de monitoreo para la fertilización que se propone implementar utilizando internet de las cosas y diferentes elementos que conforman la red de sensores tales como transmisores, microcontroladores, sensores, así como conceptos de computación en la Nube, protocolos de comunicación y aplicaciones Backend, además se señala el concepto y los diferentes tipos de batería usados en este sistema.

### **Fertilización Agrícola**

La fertilización agrícola es un proceso en el cual se estimula el crecimiento de las plantas y se mejora la calidad del suelo mediante fertilizaciones. Para el crecimiento y desarrollo de los productos agrícolas es necesario implementar nuevos métodos para mejorar la eficiencia del cultivo, siendo la medida del fósforo, nitrógeno y potasio el mejor indicador para medir la fertilidad y calidad del suelo. (Muñoz J. et al., 2010).

### **Cultivo de Mandarina**

En el año 2019, Perú produjo 503,220 toneladas de mandarinas, siendo el departamento de Lima el principal productor de este cítrico con 247 388 toneladas ("Anuario Estadístico de Producción Agrícola", 2020).

Para el manejo apropiado de este cítrico es indispensable el monitoreo de las propiedades químicas del suelo para asegurar la calidad y rendimiento de este; la mandarina absorbe los nutrientes durante todo el año, pero las etapas donde se acentúa son la floración y formación de la fruta; siendo el calcio (Ca), nitrógeno (N), potasio(K), magnesio (Mg), azufre (S) y fosforo (P) los primordiales para su desarrollo además de necesitar un pH con valores entre 5,5 y 6,5 (Miranda D., 2020)

## **Riego en cultivos**

El riego consiste en suministrar líquido al suelo para que el cultivo tenga el abastecimiento que necesita, favoreciendo así su desarrollo (EAP, 2012).

Los tipos de riego más utilizados son 5 según señala la FAO (Food and Agriculture Organization):

- **Riego por gravedad.** - Consiste en suministrar agua a las plantaciones mediante una red de canales o surcos. Este tipo de riego puede verse afectado por la salinidad, al igual que por las inundaciones, el coste de mano de obra suele ser alto. Tiene una eficiencia del 40 - 60 %.
- **Riego por inundación.** - Este tipo de riego es de los mas antiguos y pocos sofisticados el cual consiste en distribuir el agua por la superficie del terreno inundándola completamente, este tipo de riego se debe evitar ya que disuelve los nutrientes más solubles y erosiona el suelo. Tiene una eficiencia del 40 - 65 %.
- **Riego por goteo.** - Es el mas eficiente, debido a que le agua es distribuida de manera localizada a través de goteros instalados en mangueras de goteo distribuidos de manera estratégica en la zona de absorción de la planta, además de no haber peligro de erosión ni de disolver los nutrientes del suelo. El costo de mano de obra solo es significativo en la instalación del sistema. Tiene una eficiencia del 90 - 95%.
- **Riego por aspersión.** - Se utiliza aspersores que generan gotas de diferentes tamaños que imitan a la lluvia; son mas adaptables a cultivos que poseen espaciamiento pequeño y que sean poco altos y frondosos.

El requerimiento de agua es mayor comparado con el riego por goteo.

Tiene una eficiencia del 80 - 85%.

- **Riego por microaspersión.** – Se realiza mediante micro aspersores, es un riego a corta distancia y se adapta fácilmente a cultivos de alto espaciamiento y a cualquier pendiente. Utiliza una menor cantidad de agua que los aspersores normales y se puede tener un buen control del agua aplicada. Tiene una eficiencia del 85 - 90%.

(Oquelis A. et al, 2020)

### **Sistema de Monitoreo**

Un sistema de monitoreo es un conjunto de tecnologías de la información que permiten el seguimiento de determinadas actividades, ayudando al control eficaz y detallado de diversas tareas, como el riego y la fertilización. (Espinosa-Espinosa J. et al., 2017).

### **Internet de las Cosas**

Internet de las cosas (IOT por sus siglas en inglés) se define como la tecnología que permite la comunicación de diversos dispositivos principalmente para la recolección de datos y la visualización de estos para la toma de decisiones.

La aplicación de IoT ofrece mejorar los procesos de negocios y la calidad de nuestras vidas, debido a que se puede aplicar en cosas tan simples como complejas.

Para esta tecnología se debe tener en cuenta los siguientes actores: sensor, proceso-usuario y conectividad.

Para culminar, IoT cada día crece más debido a la cantidad de nuevos dispositivos conectados a internet; la manera de aplicar esta tecnología a la agricultura

y generar valor, es pronosticando el cambio climático, aplicar gestión de residuos y cálculos de nutrición, todo esto mediante información obtenida de sensores; estos ejemplos son una pequeña muestra de la implementación en diversas materias. (Salazar J. et al., 2016).

## **Sensor**

Los sensores se encargan de obtener datos de dispositivos que no son computadoras y convierten las variables físicas de nuestro entorno en señales eléctricas que las computadoras puedan procesar. También existen sensores que miden una variable dicotómica del tipo si/no (se detectó humedad si/no, alta temperatura si/no, etc.). Como tal, los sensores son las piezas básicas de construcción en el IoT y pueden formar parte de componentes M2M (Máquina a máquina) los cuales intercambian información entre máquinas a través de diferentes medios de comunicación inalámbrica dentro de una misma red o un lector RFID (Identificación por radiofrecuencia) el cual posee un chip que envía información a un dispositivo receptor (lector), al ser recibida la petición se emite una respuesta en tiempo real (Barrio,2018). El sensor de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK por sus siglas en inglés) toma un valor relevante para la medición de los 3 elementos que principalmente requieren las plantas como nutrientes para su crecimiento y desarrollo son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K). Los cuales son adecuados para detectar el contenido de Macronutrientes en el suelo y determinar la fertilidad, facilitando así la evaluación del estado del suelo. (SOIL NPK THREE-IN-ONE TYPE RS485 ,2020).

## **Redes de Sensores**

Se denomina una red de sensores a un sistema conformado por dispositivos que incorporan a su capacidad de comunicación, la funcionalidad de censar alguna variable ambiental; esta variable luego es convertida en un dato digital (lenguaje binario en el que se comunican las computadoras) y enviada, ya sea a otro dispositivo o a un centro de datos, para procesarla y convertirla en información útil (Valdiviezo, 2009).

## **Computación en la Nube**

Se define como un sistema distribuido de ordenadores virtualizados que se suministran dinámicamente de acuerdo al servicio brindado al cliente y son considerados como uno o más recursos unificados; los servicios ofrecidos se pueden clasificar en 3 clases, que son los siguientes:

- Infraestructura como un Servicio (IaaS por sus siglas en inglés)
- Plataforma como un Servicio (PaaS por sus siglas en inglés)
- Software como un Servicio (SaaS por sus siglas en inglés)

La computación en la nube es el fruto de la evolución de la tecnología, ya que trata de dar un servicio orientado a las necesidades del consumidor, además de ser un servicio flexible, es más económica su implementación comparada con servidores dedicados propios. (Arias Á. ,2015)

La virtualización o cloud computing permiten que las empresas aprovechen el mayor espacio y capacidad de procesamiento que ofrecen los centros de datos. De esta manera, no tienen que invertir en costos fijos de implementar y mantener sus propias infraestructuras técnicas, sino que pagan una cuota mensual como si se tratara de cualquier otro suministro (Bankinter, 2011).

Uno de los principales proveedores de computación en la nube es Amazon Web Services (AWS) que posee una de las infraestructuras en la nube más amplias del mundo. La investigación de Gartner sitúa a AWS en el cuadrante de líderes del nuevo cuadrante mágico de 2020 para servicios de plataforma e infraestructura en la nube. Gartner no respalda a ningún proveedor, producto o servicio descrito en sus publicaciones de investigación y no aconseja a los usuarios de tecnología que seleccionen solo a los proveedores con las calificaciones más altas u otra designación (Amazon Web Services, 2020).

En la figura 10 se puede apreciar el cuadrante mágico de Gartner donde Amazon Web Services se sitúa como líder en 2020 como proveedor de servicios de plataforma e infraestructura en la nube.

**Figura 10:** *Cuadrante Mágico del 2020 para la infraestructura en la nube y los servicios de plataforma.*



*Fuente: Gartner, Magic Quadrant for Cloud Infrastructure & Platform Services, Raj Bala, Bob Gill, Dennis Smith, David Wright, Kevin Ji, 1 de septiembre de 2020.*

## Comunicación Inalámbrica

Esta tecnología permite la no dependencia de cables y permite la comunicación a grandes distancias, así mismo favorece su expansión debido a que el medio de transmisión ya se encuentra preparado.

El internet es la mayor beneficiada debido a la aparición de la red móvil, así mismo permite el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones de las comunicaciones inalámbricas.

Para que una comunicación inalámbrica se lleve a cabo deben intervenir 4 elementos, los cuales son:

- **Protocolo de comunicación.** - Es el lenguaje y el conjunto de reglas entre el emisor y receptor que facilitan la comunicación; el más conocido y extendido es el protocolo TCP/IP.
- **Topología.** - Define como los nodos están interconectados entre sí; las topologías más comunes son en bus, estrella, anillo o punto a punto.
- **Seguridad.** - Permite garantizar la confidencialidad, autenticación e integridad de datos.
- **Medio de Transmisión.** - Es el medio por el cual viaja la señal con los datos, en esta tecnología el medio de transmisión es el espectro electromagnético (coloquialmente llamado aire).

(Blázquez J. P., 2015)

Uno de los transmisores más eficientes es el NRF24L01, el cual permite una comunicación inalámbrica y se define como una tecnología de red de área personal inalámbrica (WPAN por sus siglas en inglés), este módulo utiliza 125 canales separados para que sea posible la comunicación, pero este solo tiene la capacidad de comunicarse con 6 dispositivos simultáneamente. (Misbah U. et al,2021).



Los transmisores NRF24L01 son ampliamente empleados por su bajo precio y buenas características, además es un dispositivo de ultra bajo consumo (ULP), que le permite una duración verdadera desde meses a años de la batería, también incorpora una robusta comunicación que soporta corrección de errores (CRC).

En la tabla 5, se realizó una comparación de diversos parámetros entre diferentes tecnologías que cumplan la misma función; esta tabla ayuda a identificar la factibilidad y alcance de la implementación de la tecnología NRF24L01 de acuerdo a nuestros requerimientos. (Rivera M., 2020)

**Tabla 5:** *Comparación entre diversas tecnologías de comunicación.*

| Parámetros         | Wi-Fi     | Bluetooth | ZigBee     | NRF24L01     |
|--------------------|-----------|-----------|------------|--------------|
| Velocidad          | < 50 Mbps | < 1 Mbps  | < 250 Kbps | < 2 Mbps     |
| Consumo de energía | Alto      | Medio     | Medio      | Muy Bajo     |
| Consumo de Tx      | 400 mA    | 40 mA     | 30 mA      | 11.3 mA      |
| Consumo en reposo  | 20 mA     | 0.2 mA    | 3 $\mu$ A  | 0.9 nA       |
| Precio             | Caro      | Medio     | Barato     | Barato       |
| Configuración      | Compleja  | Compleja  | Simple     | Muy Compleja |
| Alcance*           | < 50 km   | < 10 m    | < 75 m     | < 1 km       |

\* En el mejor de los casos.

*Fuente: Rivera M. (2020). "Diseño e implementación de una red de sensores auto-configurable utilizando transceptores NRF24L01.*

## Protocolo de transferencia de hipertextos

El protocolo de transferencia de hipertextos (HTTP) está basado en el principio de cliente-servidor: las peticiones son enviadas por una entidad: el agente del usuario (o un proxy a petición de uno). La mayoría de las veces el agente del usuario (cliente) es un navegador Web, pero podría ser cualquier otro programa, como por ejemplo un programa-robot, que explore la Web, para adquirir datos de su estructura y contenido para uso de un buscador de Internet (Mozilla, 2020).

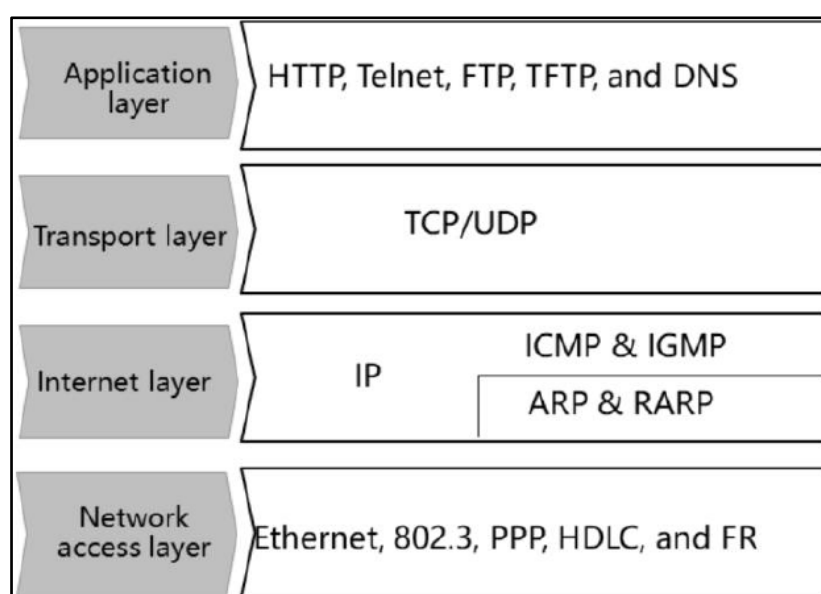
Es un protocolo en la capa de aplicación. Por debajo está el modelo TCP/IP.

El protocolo TCP/IP posee 4 capas las cuales son:

- Capa de aplicación.
- Capa de transporte.
- Capa de Internet.
- Capa de acceso a la red.

En la figura 11, se puede apreciar los protocolos usados en cada capa indicada.

**Figura 11:** *Protocolos del Modelo Tcp/Ip*



*Fuente: Huawei 2021.*

## Microcontroladores

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de realizar procesos lógicos programados, los cuales son almacenados dentro de la memoria interna del dispositivo; a diferencia de un microprocesador, este dispositivo tiene todos sus componentes (memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada y salida, periféricos y unidad de procesamiento) integrados en un solo circuito, lo que le permite tener un tamaño más reducido.

Existen diferentes tipos de estructura para los procesadores que controlan los procesos lógicos, los cuales son los siguientes:

- CISC
- RISC
- SISC

Dentro de los mencionados anteriormente, el más común es RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido), el cual posee un repertorio de instrucciones maquina reducido y simples, esto le permite optimizar el software y hardware del procesador. (Aguayo P., 2004).

Unos de los microcontroladores con más presencia en el mercado son los dispositivos Arduino 's, los cuales son microcontroladores de plataforma de tamaño pequeño, están diseñados en una plataforma de hardware libre para diferentes tipos de proyectos en diferentes ámbitos. El hardware está conformado por un microcontrolador Atmel AVR de estructura RISC y diferentes tipos de puertos de entrada y salida.

El software que posee consiste en un entorno de lenguaje de programación Processing-Wiring (Procesamiento-cableado) y un cargador de arranque, este dispositivo puede usarse para el desarrollo de objetos interactivos autónomos, o ser conectados a un software de ordenador. (Martinez O. et al., 2016).

Arduino es una plataforma de desarrollo combinada con un microcontrolador el cual almacena y ejecuta los comandos, estos últimos se desarrollan mediante un entorno de Desarrollo Integrado (o sus siglas en inglés IDE), este IDE soporta los lenguajes de C y C++, por otro lado, Arduino es capaz de conectarse a otros módulos haciendo que su funcionalidad se incremente. Es imposible cubrir todo lo que el Arduino es capaz de hacer, porque las posibilidades están limitadas solo por tu imaginación. (Villarreal P., 2018)

El ESP8266 es un microcontrolador de bajo costo y muy pequeño que se puede conectar a una red WIFI y posee un amplio conjunto de instrucciones para la comunicación vía TCP/IP, además es ampliamente usado en el mundo del internet de las cosas, debido a que permite enviar y recibir datos desde internet y a su vez también enviar y recibir datos con dispositivos remotos que usen otro protocolo de comunicación. (Valderrama J. et al., 2020)

## **Base de datos**

El término base de datos surgió en 1963, en informática una base de datos consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a dichos datos. En otras palabras, una base de datos no es más que un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada o estructurada (Gomez Fuentes, 2013).

Según C. J. Date quién fue el creador del modelo relacional, "un sistema administrador de base de datos, es el software que maneja todo acceso a la base de datos. de manera conceptual, el DBMS debe primero recuperar todas las ocurrencias solicitadas de los registros almacenados, luego construir las ocurrencias solicitadas de

los registros conceptuales y después construir las ocurrencias solicitadas de los registros externos " (Date, 2001).

MySQL, es un sistema de administración de bases de datos que utiliza lenguaje de consulta estructurado (por sus siglas en inglés SQL); este sistema de base de datos es de código abierto y el más popular; está desarrollado, distribuido y respaldado por Oracle Corporation. Las bases de datos MySQL son relacionales, almacenan los datos en tablas separadas en lugar de poner todos los datos en un gran almacén. El modelo lógico, ofrece un entorno de programación flexible donde se deben configurar reglas que gobiernan las relaciones entre diferentes campos de datos como uno a uno, uno a muchos, único, obligatorio u opcional, y “punteros”. El software MySQL es de código abierto significa que cualquiera puede utilizar y modificar el software. El servidor de base de datos MySQL es muy rápido, confiable, escalable y fácil de usar. MySQL Server funciona en sistemas cliente / servidor o integrados que consta de un servidor SQL multiproceso que admite diferentes entornos de ejecución del lado del servidor, varios programas cliente y bibliotecas, además de diferentes herramientas administrativas y una amplia gama de interfaces de programación de aplicaciones (MySQL, 2021).

### **Herramienta de código abierto para internet de las cosas**

Una herramienta fundamental para la implementación de IoT es el framework, el término framework hace referencia a un conjunto de herramientas prediseñadas para un lenguaje de programación específico los cuales están orientados a la construcción de determinados proyectos, la mejor opción para IoT es el framework en tiempo real debido a que permite el manejo de grandes cantidades de peticiones a la vez.

Node.js es un framework en tiempo real, orientado a eventos, eficiente y ligero además de ser la más popular en la aplicación de IOT. (Campoverde A. et al., 2015)

Node-RED es una herramienta funcional de cableado visual para el IOT que integra Node.js. Es un proyecto de la Fundación JS (OpenJS Foundation). Además, Node-RED permite la programación con el fin de conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea de formas nuevas e interesantes. Ofrece un editor basado en el navegador que facilita la conexión de flujos utilizando la amplia gama de nodos en la paleta que pueden desplegarse en su tiempo de ejecución con un solo clic (Node-Red.org,2021).

## **Baterías**

Las baterías o las pilas son las fuentes de energía que mejor se adaptan a las necesidades en la era de la tecnología; debido a que cada tipo de dispositivo electrónico requiere de una batería adaptable que se acomode a las necesidades de suministro y tamaño. Las baterías o también denominadas Pilas Eléctricas son fuentes de energía constituida por células electroquímicas que, mediante una reacción química, genera un flujo de electrones entre sus terminales o postes de conexión. Por medio de una reacción química, se genera un desplazamiento de los iones del cátodo al ánodo, permitiendo que la corriente fluya fuera de la batería, el cual suministrará energía eléctrica en corriente continua al sistema o circuito eléctrico que se encuentra alimentado (Cavero & Para, 2019).

Los tipos de baterías son:

1. Baterías Secundarias (recargables)
2. Baterías Primarias

Las **Baterías secundarias** desempeñan un papel importante en nuestras vidas y muchas tareas cotidianas serían impensables sin la posibilidad de recargar las baterías. Las baterías recargables más comunes son las de plomo-ácido, NiCd, NiMH y Li-ion. (batteryuniversity,2020)

- Plomo-ácido
- Níquel-cadmio
- Níquel-hidruro metálico
- Ion-litio

Las **Baterías Primarias** son aquellas que transforman la energía química en energía eléctrica, de manera irreversible. Cuando se agota la cantidad inicial de reactivos presentes en la pila, la energía no puede ser fácilmente restaurada o devuelta a la celda electroquímica por medios electrónicos (Dingrando,2010).

#### SOLUCION IOT TECNOLOGICA PROPUESTA

En la realización de la investigación se observó que el cultivo no contaba con una implementación del internet de las cosas el proceso de fertilización de los cultivos de mandarina se efectúa con métodos tradicionales como el control y estudio de la medición de los elementos químicos de la calidad del suelo a lo máximo una vez al año y la fertilización manual del terreno de cultivo.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General**

Determinar la relación que existe entre el internet de las cosas y el proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas.

### **Objetivos Específicos**

1. Establecer la relación entre el impacto de la implementación del internet de las cosas y la reducción del consumo de fertilizantes en plantaciones de mandarinas.
2. Precisar la relación entre la implementación de internet de las cosas y la reducción de la cantidad de aplicaciones de fertilizante en plantaciones de mandarinas.
3. Determinar la relación entre el internet de las cosas y la reducción del consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas.
4. Establecer la relación entre el beneficio económico de la implementación de internet de las cosas y el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina.



## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Teórica**

La contribución de esta investigación se basa en el análisis del impacto del uso de internet de las cosas en el proceso de fertilización de mandarinas, generando un aporte en datos y conocimientos en el sector agrícola del país, ya que se podrán analizar las ventajas de la aplicación teniendo una ventaja competitiva mediante la implementación del sistema de internet de las cosas, teniendo así un beneficio económico en base a la optimización de los recursos en el sistema de fertilización.

La importancia que trasciende de esta investigación es la identificación del impacto que el internet de las cosas ofrece en el proceso de fertilización de plantas de mandarina, aprovechando así el uso de la tecnología en un sector importante del país como lo es la agricultura, es decir, se busca que cada persona involucrada en la agricultura pueda ver las ventajas económicas que trae la implementación de nuevas tecnologías en el proceso de fertilización.

Los resultados finales de esta investigación se podrán aplicar a una mejora en el sector agrícola, especialmente en el sector de cítricos, en la gestión del proceso de fertilización, siendo de gran aporte y beneficio para el mejoramiento de la agricultura del país.

### **Práctica**

Los resultados de nuestra investigación ayudarán a tener una visión más clara sobre los futuros proyectos agrícolas y el uso de internet de las cosas para la fertilización, trayendo innovación tecnológica dentro del sector agrícola y abre un camino para el estudio de estos

fenómenos estableciendo una base para nuevas investigaciones de mayor envergadura ya que no hay una racionalización eficiente del uso de fertilizantes. Mediante el uso de internet de las cosas se podrá monitorear y dar seguimiento en tiempo real de las variables ambientales en una plantación agrícola, de igual manera identificamos los instrumentos utilizados en la plantación de cítricos para analizarlos, encontrar oportunidades de mejora en caso sea necesario para una mayor eficiencia e interoperabilidad de la información y hacer más competitiva nuestra plantación de mandarinas en el sector agrícola. El desarrollo exitoso de la presente investigación generará información de gran valor para todas las plantaciones de cítricos que se relacionen con internet de las cosas tratando de reducir los costos en la adquisición de recursos. El sistema propuesto impactará en los cultivos reduciendo la cantidad de agua y fertilizantes utilizados en el riego por goteo mediante el monitoreo de los niveles de fertilidad del suelo a través del uso de sensores dispersados en los cultivos, permitiendo que los agricultores puedan tomar decisiones respecto a la programación de riego y fertilización.

## **Social**

El trabajo de investigación se realizará a nivel local específicamente en la provincia de Huaral, distrito de Aucallama localidad Caqui, esta investigación va dirigida a agricultores del sector. Actualmente los agricultores de esta localidad tienen la necesidad de gestionar los recursos para la fertilización ya que esto conlleva al uso excesivo del agua y fertilizantes, la ayuda social que brindará esta investigación es cuidar los recursos naturales y su beneficio económico hacia las personas que implementen un sistema similar.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis General**

La implementación del internet de las cosas se relaciona positivamente con el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas

### **Hipótesis Específicas**

1. El internet de las cosas se relaciona positivamente con la reducción del consumo de fertilizantes en plantaciones de mandarina.
2. El internet de las cosas se relaciona positivamente con la reduciendo de la cantidad de aplicaciones de fertilizantes en plantaciones de mandarinas.
3. El internet de las cosas se relaciona positivamente con la reducción del consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas.
4. La implementación de internet de las cosas se relaciona positivamente con los beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina.

## **ALCANCE**

Este proyecto de investigación es exploratorio y correlacional mediante una herramienta de medición de datos acerca del internet de las cosas en el proceso de fertilización de mandarinas mediante un sistema de red de sensores en un campo de cultivo ubicado en el distrito de Aucallama en el valle de Huaral en el cual tenemos acceso a un centro de datos.

## **LIMITACIONES**

El trabajo de investigación abarcara el proceso de fertilización foliar por medio de riego a goteo por ende no se incluirá estudios de variables ambientales no relacionadas al proceso de fertilización, por tal motivo este trabajo no contempla el proceso de análisis del suelo pre implementación, además este trabajo cuenta con un obstáculo que sería la variable tiempo debido a la implementación del proyecto hasta la fecha de sustentación y por tal motivo se mantendrá en una propuesta teórica.

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

| TÍTULO                                                                                                                                         | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA                                                                                   | OBJETIVOS                                                                                                                                  | HIPÓTESIS                                                                                                                           | VARIABLES<br>y = f(x)                                  | INDICADORES                                                                  | ESCALA       | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| "APLICACIÓN DE IOT EN EL PROCESO DE FERTILIZACIÓN DE MANDARINAS MEDIANTE UN SISTEMA DE RED DE SENSORES"                                        | ¿Cuál es el impacto del internet de las cosas en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina? | <b><u>OBJETIVO GENERAL:</u></b>                                                                                                            | <b><u>HIPÓTESIS PRINCIPAL:</u></b>                                                                                                  | <b><u>VARIABLE INDEPENDIENTE (x):</u></b>              | - Pregunta 1<br>- Pregunta 2<br>- Pregunta 3<br>- Pregunta 4<br>- Pregunta 5 | - Dicotómica | <b><u>Paradigma:</u></b><br>Positivista<br><br><b><u>Enfoque:</u></b><br>Cuantitativo<br><br><b><u>Método:</u></b><br>No experimental |
|                                                                                                                                                |                                                                                                            | Determinar el impacto de internet de las cosas en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas                                | El internet de las cosas impacta en el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas                                       | Internet de las Cosas                                  |                                                                              |              |                                                                                                                                       |
| <b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b>                                                                                                                  |                                                                                                            | <b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</u></b>                                                                                                       | <b><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</u></b>                                                                                                | <b><u>VARIABLE DEPENDIENTE (y):</u></b>                |                                                                              |              |                                                                                                                                       |
| a) ¿Cuál es el impacto de la implementación del internet de las cosas en el consumo de fertilizantes?                                          |                                                                                                            | Calcular el impacto de la implementación del internet de las cosas en el consumo de fertilizantes.                                         | El internet de las cosas impacta en el consumo de fertilizantes.                                                                    | Proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas | -Pregunta 1<br>-Pregunta 2<br>-Pregunta 7                                    | - Dicotómica |                                                                                                                                       |
| b) ¿Cuál es el impacto de la implementación de internet de las cosas en la cantidad de aplicaciones de fertilizante en el proceso?             |                                                                                                            | Calcular el impacto de la implementación de internet de las cosas en la cantidad de aplicaciones de fertilizante en el proceso.            | El internet de las cosas impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes.                                                   |                                                        | -Pregunta 3<br>-Pregunta 6                                                   | - Dicotómica |                                                                                                                                       |
| c) ¿Cuál es el impacto de internet de las cosas en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización?                             |                                                                                                            | Calcular el impacto de internet de las cosas en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización.                            | El internet de las cosas impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización.                                 |                                                        | -Pregunta 4                                                                  | - Dicotómica |                                                                                                                                       |
| d) ¿Cuál es el beneficio económico de la implementación de internet de las cosas en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas? |                                                                                                            | Calcular el beneficio económico de la implementación de internet de las cosas en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina. | La implementación de internet de las cosas tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina. |                                                        | -Pregunta 5<br>-Pregunta 8<br>-Pregunta 9                                    | -Dicotómica  |                                                                                                                                       |

## MARCO METODOLÓGICO

### Paradigma

La investigación se enmarca dentro del paradigma La agricultura de sistemas expertos o de precisión.

De acuerdo al Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR ,2006) la agricultura de sistemas expertos contiene procedimientos que optimizan el empleo de la correcta cantidad de los insumos agrícolas, de acuerdo a la necesidad del área de trabajo.

Por eso consideramos importante monitorear las variables ambientales relacionadas a las buenas prácticas de fertilización del suelo en una plantación de cítricos; así como analizar la cantidad de recursos de fertilización foliar a racionalizarse en el proceso de fertilización del suelo en una plantación de cítricos para reducir costos de insumos.

### Enfoque

Ñaupas (2014) Señala que el enfoque cuantitativo emplea métodos y técnicas de observación y medición de las unidades de estudio por medio de técnicas estadísticas.

Nuestra investigación se basa en proponer una solución, basada en el internet de las cosas, al problema encontrado relacionado al proceso actual de fertilización, demostrando la relación entre nuestra variable dependiente (Proceso de fertilización) e independiente (Internet de las cosas). Además, otra variable de interés es el presupuesto actual que se maneja en fertilización en relación al monto de presupuesto ahorrado.

## **Método**

El método sigue el diseño de investigación no experimental transversal, de tipo aplicada o tecnológica y de nivel correlacional, porque no se manipulan las variables y son observadas en un solo momento del tiempo.

La metodología en esta investigación será no experimental de diseño transeccional correlacional ya que no manipularemos las variables (Sistema basado en internet de las cosas y proceso de fertilización) en esta investigación, buscaremos una correlación y la información tomada se dará en un solo momento en el tiempo (Hernández Sampieri et al., 2014).

## VARIABLES

### Variable Independiente:

- Internet de las Cosas:

La variable Internet de las cosas para nuestra investigación está conformada por un sistema de red de sensores.

Los sensores están encargados de registrar los datos ambientales de los campos de cultivos, para esto se proponen dispositivos que nos ayuden a censar el estado de fertilidad del suelo.

Un sistema de red de sensores permite controlar diversos procesos, los cuales, enfocados en nuestra investigación, servirán para controlar el proceso de fertilización. Este sistema está compuesto por múltiples sensores electrónicos los cuales obtienen información y la centralizan para su interpretación. (Pérez Juan et al., 2014)

Por su naturaleza esta variable es **Cualitativa**, y puede caracterizarse por el indicador que se describen en la siguiente tabla a continuación:

**Tabla 6:** Indicadores Asociados a la variable Independiente.

| Indicadores:                                                                                                                                                     | Tipo        | Escala     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Pregunta 1. ¿Tiene usted interés en adquirir conocimientos sobre los sistemas de internet de las cosas en el campo de la agricultura?                            | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 2. ¿Se hace uso de Sistemas con internet de las cosas en la agricultura en la Región Huaral?                                                            | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 3. ¿Emplearía el sistema de internet de las cosas para medir el nivel de los macronutrientes del suelo?                                                 | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 4. ¿La aplicación web que permite visualizar la información de los macronutrientes del suelo aplicando el sistema de internet de las cosas es amigable? | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 5. ¿El acceso a la interfaz del usuario de la aplicación web puede realizarse desde el sistema operativo que utiliza?                                   | Cualitativa | Dicotómica |

*Fuente: Elaboración Propia.*



### Variable Dependiente:

- Proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas

Se define al proceso de fertilización como la actividad encargada del control de la deficiencia de algún nutriente esencial en la planta por lo que se busca evitar que se pueda producir una reducción en la productividad, por otro lado, el control del exceso de estas es importante debido a que pueden afectar la producción final y el desarrollo; es por esto, que el plan de fertilización debe ser cuidadosamente estructurado. (SENASA,2020).

**Tabla 7:** *Indicadores Asociados a la variable Independiente.*

| Indicadores:                                                                                                                                                              | Tipo        | Escala     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Pregunta 1. ¿Se podría optimizar la cantidad de kilogramos de fertilizantes por hectárea empleando Internet de las Cosas?                                                 | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 2. ¿Es posible calcular la cantidad de macronutrientes que requiere el terreno agrícola para la fertilización de mandarinas utilizando el internet de las cosas? | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 3. ¿Es viable la optimización del número de aplicaciones de fertilizantes por semana utilizando el internet de las cosas?                                        | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 4. ¿Se reduce el consumo de la energía eléctrica en las actividades de fertilización de los cultivos de mandarina utilizando el internet de las cosas?           | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 5. ¿El beneficio en la fertilización de mandarinas podría justificar los costos implementación del internet de las cosas?                                        | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 6. ¿La medición de los macronutrientes NPK del terreno agrícola de mandarinas pueden ser monitoreadas remotamente?                                               | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 7. ¿Usted emplearía el internet de las cosas para optimizar el consumo de fertilizantes en cultivos de mandarina?                                                | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 8. ¿Es viable la adquisición de sensores del internet de las cosas en la fertilización de las mandarinas?                                                        | Cualitativa | Dicotómica |
| Pregunta 9. ¿Cree que es útil la integración de Internet de las Cosas en la fertilización de los terrenos de cultivo de mandarinas?                                       | Cualitativa | Dicotómica |

*Fuente: Elaboración Propia.*

## POBLACIÓN

En esta investigación la población de estudio son los agricultores de campos de cultivos de mandarinas que poseen riego por goteo. Es importante señalar que el universo está compuesto por  $N = 15$  agricultores ubicados en el valle de Huaral.

## MUESTRA

Por la naturaleza de esta investigación donde existe una población finita y pequeña se estima conveniente utilizar la siguiente fórmula para calcular la muestra deseada.

### Fórmula para calcular el tamaño de la muestra

$$= \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Para su cálculo se considera un nivel de error de 5 %, 95 % de confianza.

Obtención de la muestra:

$$Z = 95\% \Rightarrow 1,96$$

$$p = 50\% \Rightarrow 0,5$$

$$q = 1 - p \Rightarrow 0,5$$

$$e = 5 \% \Rightarrow 0,05$$

Se aplicó la siguiente ecuación:

$$\frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5 \times 15}{0.05^2 (15 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

El resultado obtenido es 14.47 redondeado a dos decimales es igual a 15

## UNIDAD DE ANÁLISIS

Nuestra unidad de análisis para esta investigación son los agricultores del valle de Huaral. Es importante precisar que para cada enfoque se realiza una segmentación diferente. En nuestro caso solo tenemos una segmentación (Monteford, 2013).

## **TÉCNICAS**

La técnica a emplear es la observación científica, con lo cual buscamos demostrar las hipótesis planteadas. Esta observación es estructurada porque la investigación es cuantitativa correlacional. Para la obtención de datos se utilizan fichas de recolección de datos y análisis de costo-beneficio.

## **INSTRUMENTOS**

Los instrumentos seleccionados tienen respaldo en las investigaciones descritas en los antecedentes. Entre los instrumentos aplicados en esta investigación se tienen:

- Cuestionario sobre el internet de las cosas.
- Cuestionario sobre el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina.
- Flujo de caja.

Para el caso de los cuestionarios sobre el internet de las cosas y el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina se desarrolló el formulario visto en el Anexo N°8

## **PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para el procesamiento de la información, se realizó cuestionarios con 14 ítems los cuales buscan medir si existe la necesidad de mejora implementado un sistema de internet de las cosas y el posible impacto que esta tecnología tuviera en el proceso de fertilización.

La presentación de la información se dará mediante tablas tabulares y se analiza el posible beneficio económico que traería la implementación de esta tecnología.

## **PROTOTIPO**

En el presente capítulo se describirá los distintos requerimientos de hardware y software para la elaboración del prototipo para esta tesis. Se detallarán los procedimientos realizados y los resultados de prueba que se obtuvieron, cabe resaltar que el prototipo se desarrolló entre los autores de esta tesis.

### **Requerimientos**

En la presente sección se hablará de los diferentes requerimientos para la elaboración de nuestro prototipo diseñado en nuestro diagrama As is y To be que está en el Anexo N° 3.

#### **Hardware**

El prototipo final consta de 3 partes fundamentales cuyas funciones son:

- Sensor: es el encargado de la recopilación de datos.
- Nodo Final: es el punto al cual va conectado el sensor, este nodo se encarga de enviar la información hacia el nodo Gateway.
- Nodo Gateway: Es un punto que está conectado a uno o más nodos finales, este está conectado a internet y es el encargado de subir la data a la nube.

#### **1. Sensor**

En este proyecto se utilizó un sensor llamado SENSOR NPK. El cual se puede apreciar en el Anexo N°10:

#### **2. Nodo Final**

Se utilizó un Arduino Uno como componente principal junto con la antena NRF24L01, el cual se usó para la comunicación con el nodo Gateway según se puede apreciar en el Anexo N°11.

### **3. Nodo Gateway**

Se utilizó un ESP8266 que contiene un Módulo WIFI junto con la antena NRF24L01 el cual se usó para la comunicación según se puede apreciar en el Anexo N°12.

## **Software**

En esta subsección se hablará de 4 software utilizados para la elaboración del prototipo los cuales son de código abierto y pagos mensuales. Estos son:

### **1. Arduino IDE**

Arduino IDE es una aplicación multiplataforma utilizado para escribir y subir código a un microcontrolador Arduino, en nuestro proyecto se utilizó para poder registrar los datos obtenidos del sensor mediante el código desplegado dentro del Arduino Uno. Anexo N°7

### **2. Node Red**

Este software se utilizó para la visualización de los datos dentro del dashboard donde se aprecian los indicadores emitidos por el sensor NPK. Según el Anexo N°6 y Anexo N°4

### **3. Amazon Web Services**

Esta plataforma en la nube se utilizó para poder construir la infraestructura de nuestra aplicación utilizando sus recursos desplegados en la nube. Anexo N°5

#### 4. PhpMyAdmin

Este software es una aplicación web de administración de base de datos MySQL basado en PHP, la cual nos permitió acceder remotamente mediante nuestro servidor web de forma sencilla y con una interfaz amistosa. Anexo N°9

### RESULTADOS

#### 1. Variable independiente: Internet de las cosas mediante un sistema de red de sensores

##### 1.1. Conocimiento previo del sistema de internet de las cosas.

Pregunta 1: ¿Tiene usted algún conocimiento previo sobre sistemas de internet de las cosas antes de la realización de la presente investigación?

**Tabla 8:** Pregunta 1.

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 12                | 80,0              | 80,0                         | 80,0                            |
|               | <i>No</i>    | 3                 | 20,0              | 20,0                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 8, el 80,0% de los encuestados carecía de algún conocimiento sobre sistemas de internet de las cosas antes de la ejecución de la presente investigación.

### 1.2. Uso de Sistemas de IoT en la agricultura en la Provincia de Huaral.

Pregunta 2: ¿Se hace uso de Sistemas con internet de las cosas en la agricultura en la Región Huaral?

**Tabla 9:** Pregunta 2.

|               |           | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje válido</i> | <i>Porcentaje acumulado</i> |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>No</i> | 15                | 100,0             | 100,0                    | 100,0                       |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 9, con respecto al funcionamiento del proceso actual de fertilización en la zona del Valle de Huaral, Caqui, los lugareños, en una muestra de 15 personas, afirman que no se hace uso de Sistemas de Internet de las Cosas.

### 1.3. Medición del nivel de macronutrientes del suelo.

Pregunta 3: ¿Emplearía el sistema de internet de las cosas para medir el nivel de los macronutrientes del suelo?

**Tabla 10:** Pregunta 3.

|  |  | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|--|--|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
|  |  |                   |                   |                              |                                 |

|               |              |    |       |       |       |
|---------------|--------------|----|-------|-------|-------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 13 | 86,7  | 86,7  | 86,7  |
|               | <i>No</i>    | 2  | 13,3  | 13,3  | 100,0 |
|               | <i>Total</i> | 15 | 100,0 | 100,0 |       |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 10, el 86,7% de los encuestados piensa en utilizar el internet de las cosas para medir los macronutrientes del terreno de cultivo.

#### 1.4. Experiencia de usuario en el uso de la aplicación web para medir los macronutrientes del suelo.

Pregunta 4: ¿La aplicación web que permite visualizar la información de los macronutrientes del suelo aplicando el sistema de internet de las cosas es amigable?

**Tabla 11:** *Pregunta 4.*

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje válido</i> | <i>Porcentaje acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 13                | 86,7              | 86,7                     | 86,7                        |
|               | <i>No</i>    | 2                 | 13,3              | 13,3                     | 100,0                       |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                    |                             |

*Fuente: Elaboración Propia.*



**Interpretación:** Según se observa en la tabla 11, el 86,7% de los encuestados afirma que la aplicación web diseñada por los investigadores les resulta fácil de comprender.

### 1.5. Accesibilidad a la interfaz del usuario desde cualquier sistema operativo.

Pregunta 5: ¿El acceso a la interfaz del usuario de la aplicación web puede realizarse desde el sistema operativo que utiliza?

**Tabla 12:** Pregunta 5.

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 13                | 86,7              | 86,7                         | 86,7                            |
|               | <i>No</i>    | 2                 | 13,3              | 13,3                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 12, el 86,7% de los encuestados puede acceder a la aplicación web para monitorear el nivel de los macronutrientes del terreno agrícola por medio del sistema operativo con que cuenta sus equipos informáticos.

## 2. Variable dependiente: Proceso de fertilización en plantaciones de mandarinas

### 2.1. Optimización de la cantidad de fertilizantes por hectárea.

Pregunta 1: ¿Se podría optimizar la cantidad de kilogramos de fertilizantes por hectárea empleando Internet de las Cosas?

**Tabla 13:** Pregunta 1.

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 14                | 93,3              | 93,3                         | 93,3                            |
|               | <i>No</i>    | 1                 | 6,7               | 6,7                          | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 13, el 93,3% de los encuestados manifiesta que el uso del internet de las cosas podría optimizar la cantidad de kilogramos de fertilizantes aplicados por hectárea.

### 2.2. Determinación de la cantidad de macronutrientes que requiere el terreno agrícola.

Pregunta 2: ¿Es posible calcular la cantidad de macronutrientes que requiere el terreno agrícola para la fertilización de mandarinas utilizando el internet de las cosas?

**Tabla 14:** *Pregunta 2.*

|               |           | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        | 100,0                           |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 14, el 100.0% de los encuestados expresa que si es posible el cálculo de la cantidad de macronutrientes que requiere el terreno agrícola para la fertilización de mandarinas utilizando el internet de las cosas.

### **2.3. Optimización de la cantidad de aplicaciones de fertilizantes al terreno agrícola**

Pregunta 3: ¿Es viable la optimización del número de aplicaciones de fertilizantes por semana utilizando el internet de las cosas?

**Tabla 15:** *Pregunta 3.*

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 12                | 80,0              | 80,0                         | 80,0                            |
|               | <i>No</i>    | 3                 | 20,0              | 20,0                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 15, el 80,0% de los encuestados afirma que utilizando el internet de las cosas es posible optimizar el número de aplicaciones de fertilizantes por semana de los cultivos de mandarina.

#### 2.4. Consumo de energía eléctrica

Pregunta 4: ¿Se reduce el consumo de la energía eléctrica en las actividades de fertilización de los cultivos de mandarina utilizando el internet de las cosas?

**Tabla 16:** Pregunta 4.

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 11                | 73,3              | 73,3                         | 73,3                            |
|               | <i>No</i>    | 4                 | 26,7              | 26,7                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 16, el 73,3% de los encuestados manifiesta que el empleo del internet de las cosas reduce el consumo de la energía eléctrica durante las actividades de fertilización del cultivo de mandarinas.

#### 2.5. Justificación del costo y beneficio.

Pregunta 5: ¿El beneficio en la fertilización de mandarinas podría justificar los costos implementación del internet de las cosas?

**Tabla 17: Pregunta 5.**

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 12                | 80,0              | 80,0                         | 80,0                            |
|               | <i>No</i>    | 3                 | 20,0              | 20,0                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 17, el 80,0% de los encuestados señala que la implementación del internet de las cosas justifica los costos de su implementación.

## **2.6. Monitoreo remoto.**

Pregunta 6: ¿La medición de los macronutrientes NPK del terreno agrícola de mandarinas pueden ser monitoreadas remotamente?

**Tabla 18: Pregunta 6.**

|               |           | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        | 100,0                           |
|               | <i>No</i> | 0                 | 0                 | 0                            | 0                               |

|  |              |    |       |       |  |
|--|--------------|----|-------|-------|--|
|  | <i>Total</i> | 15 | 100,0 | 100,0 |  |
|--|--------------|----|-------|-------|--|

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 18, el 100,0% de los encuestados precisan que es posible medir en forma remota los macronutrientes NPK del terreno de cultivo de mandarinas.

## 2.7. Uso del internet de las cosas

Pregunta 7: ¿Usted emplearía el internet de las cosas para optimizar el consumo de fertilizantes en cultivos de mandarina?

**Tabla 19:** Pregunta 7.

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 11                | 73,3              | 73,3                         | 73,3                            |
|               | <i>No</i>    | 4                 | 26,7              | 26,7                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 19, el 73,3% de los encuestados manifestaron la posibilidad de emplear el internet de las cosas para optimizar el consumo de fertilizantes en los cultivos de mandarina.

## 2.8. Viabilidad de la adquisición de sensores

Pregunta 8: ¿Es viable la adquisición de sensores del internet de las cosas en la fertilización de las mandarinas?

**Tabla 20:** Pregunta 8.

|               |              | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i>    | 11                | 73,3              | 73,3                         | 73,3                            |
|               | <i>No</i>    | 4                 | 26,7              | 26,7                         | 100,0                           |
|               | <i>Total</i> | 15                | 100,0             | 100,0                        |                                 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Según se observa en la tabla 20, el 73.3% de los encuestados expresa que la adquisición de sensores del internet de las cosas es viable.

## 2.9. Nivel de utilidad de internet de las Cosas en la agricultura

Pregunta 9: ¿Cree que es útil la integración de Internet de las Cosas en la fertilización de los terrenos de cultivo de mandarinas?

**Tabla 21:** Pregunta 9.

|               |           | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje</i> | <i>Porcentaje<br/>válido</i> | <i>Porcentaje<br/>acumulado</i> |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <i>Válido</i> | <i>Si</i> | 13                | 86,7              | 86,7                         | 86,7                            |

|  |       |    |       |       |       |
|--|-------|----|-------|-------|-------|
|  | No    | 2  | 13,3  | 13,3  | 100,0 |
|  | Total | 15 | 100,0 | 100,0 |       |

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Interpretación:** Acorde a lo observado en la tabla 21, con respecto a la utilidad de la integración de Internet de las Cosas en la agricultura, se puede apreciar que un 86,7% de los encuestados, reconoce la importancia de la implementación de un sistema de Internet de las Cosas.

## 2.10. Análisis de resultados de las encuestas

En primer lugar, el objetivo de las encuestas es describir e implementar el internet de las cosas en la fertilización de las mandarinas.

Con relación al Internet de las Cosas es posible afirmar que más del 85% de usuarios afirma que la interfaz de usuario es intuitiva y de fácil acceso.

Con referencia al proceso de fertilización de las mandarinas más del 70% señala que el uso del Internet de las Cosas podría ser viable y ventajoso al justificar los costos que demande la implementación del sistema, midiendo y mejorando los niveles de macronutrientes del terreno de cultivo.

Se determinó desde el principio de la presente investigación que el objetivo general propone determinar el impacto de un sistema de Internet de las Cosas en el proceso de fertilización en la agricultura basándonos en que existe un escaso control y monitoreo del proceso de fertilización. Es por eso, que, al hacer la encuesta, se mejora la experiencia del usuario en el uso de la interfaz y la visualización de los resultados de medición que mejore el proceso y gestión de fertilización del cultivo.



### **3. Prueba de Hipótesis General**

Formulamos la hipótesis estadística

H1: El internet de las cosas impacta en el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas

H0: El internet de las cosas no impacta en el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas

**Tabla 22:** Tabla cruzada Internet de las Cosas\*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas.

|                       |                   |                   | Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas |      |      |       |       | Total  |
|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|--------|
|                       |                   |                   | 4                                                      | 6    | 7    | 8     | 9     |        |
| Internet de las Cosas | No                | Recuento          | 1                                                      | 0    | 0    | 1     | 0     | 2      |
|                       |                   | Recuento esperado | ,3                                                     | ,1   | ,1   | ,8    | ,7    | 2,0    |
|                       |                   | % del total       | 6,7%                                                   | 0,0% | 0,0% | 6,7%  | 0,0%  | 13,3%  |
|                       | 2                 | Recuento          | 0                                                      | 0    | 1    | 0     | 0     | 1      |
|                       |                   | Recuento esperado | ,1                                                     | ,1   | ,1   | ,4    | ,3    | 1,0    |
|                       |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 0,0% | 6,7% | 0,0%  | 0,0%  | 6,7%   |
|                       | 3                 | Recuento          | 0                                                      | 1    | 0    | 0     | 0     | 1      |
|                       |                   | Recuento esperado | ,1                                                     | ,1   | ,1   | ,4    | ,3    | 1,0    |
|                       |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 6,7% | 0,0% | 0,0%  | 0,0%  | 6,7%   |
|                       | 4                 | Recuento          | 1                                                      | 0    | 0    | 5     | 5     | 11     |
|                       |                   | Recuento esperado | 1,5                                                    | ,7   | ,7   | 4,4   | 3,7   | 11,0   |
|                       |                   | % del total       | 6,7%                                                   | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 33,3% | 73,3%  |
| Total                 | Recuento          |                   | 2                                                      | 1    | 1    | 6     | 5     | 15     |
|                       | Recuento esperado |                   | 2,0                                                    | 1,0  | 1,0  | 6,0   | 5,0   | 15,0   |
|                       | % del total       |                   | 13,3%                                                  | 6,7% | 6,7% | 40,0% | 33,3% | 100,0% |

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 23:** Pruebas de chi-cuadrado.

|                              | Valor               | df | Significación<br>asintótica (bilateral) |
|------------------------------|---------------------|----|-----------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson      | 33,182 <sup>a</sup> | 12 | ,001                                    |
| Razón de verosimilitud       | 17,536              | 12 | ,131                                    |
| Asociación lineal por lineal | 3,089               | 1  | ,079                                    |
| N de casos válidos           | 15                  |    |                                         |

a. 20 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,07.

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el nivel de significancia es menor que 0,05( $0,001 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05 El internet de las cosas impacta en el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas.

**Tabla 24:** Medidas simétricas.

|                     |                             | Valor | Significación<br>aproximada |
|---------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|
| Nominal por Nominal | Coeficiente de contingencia | ,830  | ,001                        |
| N de casos válidos  |                             | 15    |                             |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el coeficiente de significancia es menor que 0,05( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0.05, existe una relación fuerte entre El internet de las cosas y el proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas.

#### **4. Pruebas de Hipótesis Específica**

##### **4.1. Prueba de hipótesis específica 1**

H1: El internet de las cosas impacta en el consumo de fertilizantes.

H0: El internet de las cosas no impacta en el consumo de fertilizantes.

**Tabla 25:** Tabla cruzada El internet de las cosas impacta en el consumo de fertilizantes\*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas

|                                                                 |                   |                   | Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas |      |       |       |        |       |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|------|-------|-------|--------|-------|
|                                                                 |                   |                   | 4                                                      | 6    | 7     | 8     | 9      | Total |
| El internet de las cosas impacta en el consumo de fertilizantes | 1                 | Recuento          | 1                                                      | 0    | 0     | 0     | 0      | 1     |
|                                                                 |                   | Recuento esperado | ,1                                                     | ,1   | ,1    | ,4    | ,3     | 1,0   |
|                                                                 |                   | % del total       | 6,7%                                                   | 0,0% | 0,0%  | 0,0%  | 0,0%   | 6,7%  |
|                                                                 | 2                 | Recuento          | 1                                                      | 1    | 1     | 0     | 0      | 3     |
|                                                                 |                   | Recuento esperado | ,4                                                     | ,2   | ,2    | 1,2   | 1,0    | 3,0   |
|                                                                 |                   | % del total       | 6,7%                                                   | 6,7% | 6,7%  | 0,0%  | 0,0%   | 20,0% |
|                                                                 | 3                 | Recuento          | 0                                                      | 0    | 0     | 6     | 5      | 11    |
|                                                                 |                   | Recuento esperado | 1,5                                                    | ,7   | ,7    | 4,4   | 3,7    | 11,0  |
|                                                                 |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 0,0% | 0,0%  | 40,0% | 33,3%  | 73,3% |
| Total                                                           | Recuento          | 2                 | 1                                                      | 1    | 6     | 5     | 15     |       |
|                                                                 | Recuento esperado | 2,0               | 1,0                                                    | 1,0  | 6,0   | 5,0   | 15,0   |       |
|                                                                 | % del total       | 13,3%             | 6,7%                                                   | 6,7% | 40,0% | 33,3% | 100,0% |       |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 26: Pruebas de chi-cuadrado**

|                              | Valor               | df | Significación<br>asintótica<br>(bilateral) |
|------------------------------|---------------------|----|--------------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson      | 20,000 <sup>a</sup> | 8  | ,010                                       |
| Razón de verosimilitud       | 19,124              | 8  | ,014                                       |
| Asociación lineal por lineal | 11,203              | 1  | ,001                                       |
| N de casos válidos           | 15                  |    |                                            |

a. 15 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,07.

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el nivel de significancia es menor que 0,05( $0,010 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05 el internet de las cosas impacta en el consumo de fertilizantes.

**Tabla 27: Medidas simétricas**

|                                                      | Valor | Significación<br>aproximada |
|------------------------------------------------------|-------|-----------------------------|
| Nominal por Nominal      Coeficiente de contingencia | ,756  | ,010                        |
| N de casos válidos                                   | 15    |                             |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el coeficiente de significancia es menor que 0,05( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05, existe una relación fuerte entre el consumo de fertilizantes y el internet de las cosas.

#### **4.2. Prueba de hipótesis específica 2**

H0: El internet de las cosas impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes.

H1: El internet de las cosas no impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes.

**Tabla 28:** Tabla cruzada El internet de las cosas impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes\*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas

|                                                                                  |                   |                   | Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas |      |      |       |       | Total  |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|--------|
|                                                                                  |                   |                   | 4                                                      | 6    | 7    | 8     | 9     |        |
| El internet de las cosas impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes | 1                 | Recuento          | 2                                                      | 1    | 0    | 0     | 0     | 3      |
|                                                                                  |                   | Recuento esperado | ,4                                                     | ,2   | ,2   | 1,2   | 1,0   | 3,0    |
|                                                                                  |                   | % del total       | 13,3%                                                  | 6,7% | 0,0% | 0,0%  | 0,0%  | 20,0%  |
|                                                                                  | 2                 | Recuento          | 0                                                      | 0    | 1    | 6     | 5     | 12     |
|                                                                                  |                   | Recuento esperado | 1,6                                                    | ,8   | ,8   | 4,8   | 4,0   | 12,0   |
|                                                                                  |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 0,0% | 6,7% | 40,0% | 33,3% | 80,0%  |
| Total                                                                            | Recuento          |                   | 2                                                      | 1    | 1    | 6     | 5     | 15     |
|                                                                                  | Recuento esperado |                   | 2,0                                                    | 1,0  | 1,0  | 6,0   | 5,0   | 15,0   |
|                                                                                  | % del total       |                   | 13,3%                                                  | 6,7% | 6,7% | 40,0% | 33,3% | 100,0% |

*Fuente: Elaboración Propia*



**Tabla 29: Pruebas de chi-cuadrado**

|                              | Valor               | df | Significación<br>asintótica (bilateral) |
|------------------------------|---------------------|----|-----------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson      | 15,000 <sup>a</sup> | 4  | ,005                                    |
| Razón de verosimilitud       | 15,012              | 4  | ,005                                    |
| Asociación lineal por lineal | 11,407              | 1  | ,001                                    |
| N de casos válidos           | 15                  |    |                                         |

a. 10 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,20.

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el nivel de significancia es menor que 0,05( $0,005 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05 el internet de las cosas impacta en la cantidad de aplicaciones de fertilizantes.

**Tabla 30: Medidas simétricas**

|                     |                             | Valor | Significación<br>aproximada |
|---------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|
| Nominal por Nominal | Coeficiente de contingencia | ,707  | ,005                        |
| N de casos válidos  |                             | 15    |                             |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el coeficiente de significancia es menor que 0,05( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05, existe una relación fuerte entre la cantidad de aplicaciones de fertilizantes y el internet de las cosas.

#### **4.3. Prueba de hipótesis específica 3**

H0: El internet de las cosas impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización.

H1: El internet de las cosas no impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización.

**Tabla 31:** *Tabla cruzada El internet de las cosas impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización\*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas*

|                                                                                                    |                   |                   | Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas |      |       |       |        |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|------|-------|-------|--------|-------|
|                                                                                                    |                   |                   | 4                                                      | 6    | 7     | 8     | 9      | Total |
| El internet de las cosas impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización | 0                 | Recuento          | 2                                                      | 1    | 0     | 1     | 0      | 4     |
|                                                                                                    |                   | Recuento esperado | ,5                                                     | ,3   | ,3    | 1,6   | 1,3    | 4,0   |
|                                                                                                    |                   | % del total       | 13,3%                                                  | 6,7% | 0,0%  | 6,7%  | 0,0%   | 26,7% |
|                                                                                                    | 1                 | Recuento          | 0                                                      | 0    | 1     | 5     | 5      | 11    |
|                                                                                                    |                   | Recuento esperado | 1,5                                                    | ,7   | ,7    | 4,4   | 3,7    | 11,0  |
|                                                                                                    |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 0,0% | 6,7%  | 33,3% | 33,3%  | 73,3% |
| Total                                                                                              | Recuento          | 2                 | 1                                                      | 1    | 6     | 5     | 15     |       |
|                                                                                                    | Recuento esperado | 2,0               | 1,0                                                    | 1,0  | 6,0   | 5,0   | 15,0   |       |
|                                                                                                    | % del total       | 13,3%             | 6,7%                                                   | 6,7% | 40,0% | 33,3% | 100,0% |       |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 32: Pruebas de chi-cuadrado**

|                              | Valor               | df | Significación<br>asintótica (bilateral) |
|------------------------------|---------------------|----|-----------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson      | 10,739 <sup>a</sup> | 4  | ,030                                    |
| Razón de verosimilitud       | 11,991              | 4  | ,017                                    |
| Asociación lineal por lineal | 8,504               | 1  | ,004                                    |
| N de casos válidos           | 15                  |    |                                         |

a. 10 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,27.

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el nivel de significancia es menor que 0,05( $0,030 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05 el internet de las cosas impacta en el consumo de energía eléctrica en el proceso de fertilización.

**Tabla 33: Medidas simétricas**

|                     |                             | Valor | Significación<br>aproximada |
|---------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|
| Nominal por Nominal | Coeficiente de contingencia | ,646  | ,030                        |
| N de casos válidos  |                             | 15    |                             |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el coeficiente de significancia es menor que 0,05( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05, existe una relación fuerte entre el consumo de energía eléctrica y el internet de las cosas.

#### **4.4. Prueba de hipótesis específica 4**

H0: La implementación de internet de las cosas tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina.

H1: La implementación de internet de las cosas no tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina.

**Tabla 34:** Tabla cruzada La implementación de internet de las cosas tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina\*Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas

|                                                                                                                                    |                   |                   | Proceso de fertilización de plantaciones de mandarinas |      |      |       |       | Total  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|--------|
|                                                                                                                                    |                   |                   | 4                                                      | 6    | 7    | 8     | 9     |        |
| La implementación de internet de las cosas tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina | 1                 | Recuento          | 2                                                      | 0    | 0    | 0     | 0     | 2      |
|                                                                                                                                    |                   | Recuento esperado | ,3                                                     | ,1   | ,1   | ,8    | ,7    | 2,0    |
|                                                                                                                                    |                   | % del total       | 13,3%                                                  | 0,0% | 0,0% | 0,0%  | 0,0%  | 13,3%  |
|                                                                                                                                    | 2                 | Recuento          | 0                                                      | 1    | 0    | 4     | 0     | 5      |
|                                                                                                                                    |                   | Recuento esperado | ,7                                                     | ,3   | ,3   | 2,0   | 1,7   | 5,0    |
|                                                                                                                                    |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 6,7% | 0,0% | 26,7% | 0,0%  | 33,3%  |
|                                                                                                                                    | 3                 | Recuento          | 0                                                      | 0    | 1    | 2     | 5     | 8      |
|                                                                                                                                    |                   | Recuento esperado | 1,1                                                    | ,5   | ,5   | 3,2   | 2,7   | 8,0    |
|                                                                                                                                    |                   | % del total       | 0,0%                                                   | 0,0% | 6,7% | 13,3% | 33,3% | 53,3%  |
| Total                                                                                                                              | Recuento          |                   | 2                                                      | 1    | 1    | 6     | 5     | 15     |
|                                                                                                                                    | Recuento esperado |                   | 2,0                                                    | 1,0  | 1,0  | 6,0   | 5,0   | 15,0   |
|                                                                                                                                    | % del total       |                   | 13,3%                                                  | 6,7% | 6,7% | 40,0% | 33,3% | 100,0% |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 35: Pruebas de chi-cuadrado**

|                              | Valor               | df | Significación<br>asintótica (bilateral) |
|------------------------------|---------------------|----|-----------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson      | 23,500 <sup>a</sup> | 8  | ,003                                    |
| Razón de verosimilitud       | 21,465              | 8  | ,006                                    |
| Asociación lineal por lineal | 9,646               | 1  | ,002                                    |
| N de casos válidos           | 15                  |    |                                         |

a. 15 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,13.

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el nivel de significancia es menor que 0,05( $0,003 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05 la implementación de internet de las cosas tiene beneficios económicos en el proceso de fertilización en plantaciones de mandarina.

**Tabla 36: Medidas simétricas**

|                     |                             | Valor | Significación<br>aproximada |
|---------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|
| Nominal por Nominal | Coeficiente de contingencia | ,781  | ,003                        |
| N de casos válidos  |                             | 15    |                             |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Interpretación:** Como el coeficiente de significancia es menor que 0,05( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, luego podemos concluir a un nivel significancia de 0,05, existe una relación fuerte entre los beneficios económicos en el proceso de fertilización y el internet de las cosas.

## 5. Viabilidad del proyecto

### 5.1. Costo de inversión inicial

Como se observa en la siguiente tabla, se tomó en cuenta los instrumentos necesarios para la implementación de este sistema, cuyos costos fueron tomados de referencia en enero del 2021.

**Tabla 37:** *Inversión inicial.*

| Módulo                         | Equipo y accesorio       | Precio Unitario | Cantidad | Precio Total |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------|----------|--------------|
| Comunicación inalámbrica       | NRF24L01                 | 20.00           | 2        | 40.00        |
|                                | ESP 8266                 | 22.00           | 1        | 22.00        |
| Censado y adquisición de datos | Sensor NPK               | 500.00          | 1        | 500.00       |
|                                | Arduino UNO              | 35.00           | 1        | 35.00        |
| Puerto de enlace               | RS485                    | 4.00            | 1        | 4.00         |
|                                | Jumpers macho hembra     | 8.00            | 1        | 8.00         |
|                                | Jumpers macho macho      | 8.00            | 1        | 8.00         |
|                                | protoboard               | 8.00            | 1        | 8.00         |
| Accesorios                     | Case pila 18650          | 5.00            | 1        | 5.00         |
|                                | Pila 18650               | 8.00            | 6        | 48.00        |
| Plataforma                     | Amazon Web Service (AWS) | 8.00            | 1        | 8.00         |
| TOTAL EN SOLES (S/.)           |                          |                 |          | 686.00       |

*Fuente: Elaboración Propia.*



## 5.2. Costo anual de fertilizantes y proyección de ahorro

En la siguiente tabla se pueden apreciar los costos de fertilizantes, tomados de referencia de un campo de cultivo en la región del valle de Huaral en la temporada 2020.

**Tabla 38:** Costos de fertilizantes.

| Fertilizantes                   | Cantidad Necesitada (kg) | Tamaño de Unidad (kg) | Precio (S/.) | Unidades a Comprar (sacos) | Costo (S/.) |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|-------------|
| Nitrato de Amonio               | 780                      | 50                    | 120.00       | 16                         | 1920.00     |
| Ácido Fosfórico                 | 136                      | 50                    | 330.00       | 3                          | 990.00      |
| Nitrato de Potasio Cristalizado | 650                      | 25                    | 120.00       | 26                         | 3120.00     |
| Nitrato de Calcio               | 50                       | 25                    | 90.00        | 2                          | 180.00      |
| Nitrato de Magnesio             | 100                      | 25                    | 110.00       | 4                          | 440.00      |
| TOTAL ANUAL                     |                          |                       |              |                            | 6650.00     |

*Fuente: Elaboración Propia.*

A continuación, se elaboró una proyección del costo de fertilizante tomando de referencia un ahorro del 5%, según Alcaraz et al. (2018).

**Tabla 39:** Proyección del costo de fertilizante.

|                         | Año 1   | Año 2   | Año 3   | Año 4   | Año 5   | Año 6   |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Fertilizantes (S/.)     | 6650.00 | 6650.00 | 6650.00 | 6650.00 | 6650.00 | 6650.00 |
| Proyección ahorro (S/.) | 332.50  | 332.50  | 332.50  | 332.50  | 332.50  | 332.50  |

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 5.3. Flujo de Caja

La tabla muestra las variaciones de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período de 6 años.

**Tabla 40:** *Flujo de Caja.*

|                       | Año 0   | Año 1   | Año 2   | Año 3  | Año 4  | Año 5  | Año 6  |
|-----------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Inversión             | 683.00  | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Ahorro Beneficio      | 0       | 332.50  | 332.5   | 332.50 | 332.50 | 332.50 | 332.50 |
| Membresía AWS         | 0       | 60.00   | 60.00   | 60.00  | 60.00  | 60.00  | 60.00  |
| TOTAL (S/.)           | -683.00 | 272.50  | 272.50  | 272.50 | 272.50 | 272.50 | 272.50 |
| TOTAL ACUMULADO (S/.) | -683.00 | -410.50 | -138.00 | 134.50 | 407.00 | 679.50 | 952.00 |

*Fuente: Elaboración Propia.*

A continuación, se evaluó la viabilidad del proyecto usando las herramientas del VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Rentabilidad). Se parte de la premisa que si el VAN es mayor que cero ( $VAN > 0$ ) se acepta la inversión.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

$F_n$  = Flujo de efectivo anual

$n$  = vida útil del proyecto

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} - I = 0$$

VAN= Valor actual neto

$Q_n$  = Flujo de caja en el periodo  $n$

$N$  = número de periodo

$L$  = es el valor de la inversión inicial

Se determinó un  $VAN = S/. 14.56$  y un  $TIR = 13\%$  hasta los primeros 6 años.

Como el VAN es positivo, se determina que el proyecto es viable solo si la tasa de interés es igual o menor al 13%.

## DISCUSIÓN

El resultado del procesamiento de la información para esta investigación, ha permitido encontrar una aplicación de internet de las cosas que traería resultados positivos para la optimización de los fertilizantes en un campo de cultivo que posee fertiirrigación, la propuesta está basada en un conjunto de sensores que permiten medir los niveles de N, P y K y presentarlos en un dashboard mediante una página web alojada en un servidor en la nube, el usuario podrá tomar estos datos de referencia y ajustar los kilogramos de fertilizantes a dosificar.

Se identificaron necesidades claves de los usuarios a través de los resultados de la investigación. De las encuestas con propietarios y agricultores surgió una amplia variedad de necesidades de los usuarios, relacionadas con los desafíos actuales en el cultivo de mandarinas en función del impacto en la eficiencia de la fertilización y la finanza de los agricultores. Una necesidad prioritaria para los usuarios fue el deseo de que el sistema IoT pueda medir la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, además que la información sea de fácil acceso desde cualquier dispositivo móvil con una interfaz amigable.

Las propuestas para la optimización de fertilizantes en la región de Huaral son nulas de acuerdo a los datos obtenidos; los métodos actuales carecen de un control flexible y tecnología de vanguardia, por ello es de mucha importancia la implementación del proyecto estudiado, ya que además de traer un beneficio económico al agricultor ayuda a disminuir la contaminación ambiental.

También Internet de las Cosas es un mercado emergente y con la llegada de nuevas tecnologías de sensado e inalámbricas para la comunicación aún más. Es decir, la tecnología usada para esta implementación es escalable y tiene un gran potencial para poder cubrir mayores requerimientos sin empezar desde cero.

## CONCLUSIONES

- Se concluyó que la aplicación del internet de las cosas en el proceso de fertilización trae beneficios económicos, ya que si se implementa por un periodo de 6 años conseguimos rentabilidad debido a que el VAN es positivo.
- Se determinó, mediante las encuestas realizadas a nuestra población, que el internet de las cosas impacta en el proceso de fertilización, disminuyendo el consumo de fertilizante, cantidad de aplicaciones y consumo de energía eléctrica, además de traer beneficio económico siendo todas estas variables su nivel de significancia menores a 0.05 para su aceptación.
- El sistema de internet de las cosas propuesto proporciona mejoras en el proceso de fertilización tradicional de mandarinas. Es decir, profesionales relacionados a la tecnología e información pueden cubrir requerimientos relacionados a la agricultura sobre un mercado emergente de internet de las cosas.
- Se evidencia que la situación actual del proceso de fertilización está desfasada debido a que se usa procesos empíricos en la mayoría de los casos encuestados, por consiguiente, es necesario pensar en implementar una solución como la propuesta en este estudio.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de energía renovable como paneles solares como fuente de alimentación para los nodos de censado, evitando así el uso de baterías no recargables ya que estas pilas se desechan y afectan al medio ambiente.
- Se recomienda ampliar los tipos de sensores, tales como temperatura, humedad del ambiente y suelo, para un mayor análisis de datos y monitoreo de distintos factores ambientales.
- Se debe capacitar a los agricultores en las nuevas tecnologías a implementar, para que puedan interpretar los datos y adaptarlas a las necesidades del cultivo, esto ayudará a obtener el mayor beneficio de esta tecnología.
- Se recomienda aplicar machine learning, para la toma de los datos históricos del sistema implementado para poder generar predicciones con base a patrones para generar tendencias de fertilización acorde al comportamiento histórico.

## REFERENCIAS

Alcaraz Restrepo, J. J., & Jiménez Trespacios, J. G. (2018). “La aplicación de la agricultura de precisión en el proceso de fertilización: Un caso de estudio para el sector bananero del Urabá-Antioqueño”. *Universidad EAFIT*.

*Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2019 | Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias*.(2020).Recuperado el 12 de Septiembre del 2020, <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=noticias/anuario-estadistico-de-produccion-agricola>

Consumo de fertilizantes (kilogramos por hectárea de tierras cultivables) | Data.(2020). Recuperado el 12 de Septiembre del 2020, <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS?end=2016&start=2016&type=shaded&view=map>

FAOSTAT.(2020).Recuperado el 12 de Septiembre del 2020, <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

SENASA. (2020). *GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA) PARA EL CULTIVO DE MANDARINA*. Perú: DIRECCIÓN DE INSUMOS AGROPECUARIOS E INOCUIDAD AGROALIMENTARIA.

Leon, F. (2019). Facultad de Ciencias e Ingeniería. “Sistema Automático de Monitoreo de Mercurio en Tiempo Real en aguas aledañas a Explotaciones Mineras y Petroleras usando una plataforma IoT”. Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13641>

- Valdiviezo, D. V. (2009). “Diseño de una Red de Sensores Inalámbrica para Agricultura de Precisión”. Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/266>
- C. Wong, J. (2018). “Designing User-Centered IoT Solutions for Small-Scale and Mid-Scale Farmers”. Massachusetts Institute of Technology. Recuperado de  
<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/118490>
- Lanchipa Valencia, E. F., & Acero Catacora, C. C. (2019). “Implementación de un Sistema de Internet de las Cosas para Optimizar la Gestión del Agua en la Agricultura de la Región Tacna”. Universidad Privada de Tacna.  
<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1304>
- Huapaya Silva, F. E. (2007). “Diseño de una red de sensores inalámbrica para un área de cultivo frutícola en una ONG”. Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1087>
- Cambra Baseca, C. (2019). “Plataforma tecnológica multimedia para la agricultura de precisión”. España: Universidad Politécnica de Valencia.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=267730>
- Coha Guerra, C. G. (2013). “Diseño de un sistema de monitoreo inalámbrico y control de riego automático aplicado para el piñón blanco en la estación experimental el porvenir en Tarapoto”. Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8014>
- Tennevall, P., & Hultgren, S. J. (2019). “Saving resources through smart farming - An IoT experiment study”. Blekinge Institute of Technology.  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-17968>

- Nugroho, A. (2016). “Development of Smart Agriculture Framework and Its Application to Tropical Horticulture”. Universidad de Kyushu. <http://hdl.handle.net/2324/1785443>
- Mora Delgado, D. (2020). “Diseño de una red de sensores inalámbricos aplicada en la agricultura de precisión”. Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro. <http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/413>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación (Sexta Edic.)*.
- Almarshadi, M. H., & Ismail, S. M. (2011). “Effects of precision irrigation on productivity and water use efficiency of Alfalfa under different irrigation methods in arid climates”. *Journal of Applied Sciences Research*, 7(3), 299–308. [https://www.researchgate.net/publication/266347733\\_Effects\\_of\\_Precision\\_Irrigation\\_on\\_Productivity\\_and\\_Water\\_Use\\_Efficiency\\_of\\_Alfalfa\\_under\\_Different\\_Irrigation\\_Methods\\_in\\_Arid\\_Climates](https://www.researchgate.net/publication/266347733_Effects_of_Precision_Irrigation_on_Productivity_and_Water_Use_Efficiency_of_Alfalfa_under_Different_Irrigation_Methods_in_Arid_Climates)
- Barriga Pons, J. S. (2019). “Solución IoT para análisis inteligente en la producción de uva”. <https://eprints.ucm.es/57091/>
- Ghanshala, K. K., Chauhan, R., & Joshi, R. C. (2018). “A Novel Framework for Smart Crop Monitoring Using Internet of Things (IOT)”. *ICSCCC 2018 - 1st International Conference on Secure Cyber Computing and Communications*, 62–67. <https://doi.org/10.1109/ICSCCC.2018.8703366>
- Madhura, U., Akshay, P., Bhattad, A. J., & Nagaraja, G. (2018). “Soil Quality Management Using Wireless Sensor Network”. *2nd International Conference on*



*Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions, CSITSS 2017*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CSITSS.2017.8447860>

R. Madhumathi, T. Arumuganathan and R. Shruthi (2020). “Soil NPK and Moisture analysis using Wireless Sensor Networks”.  
<https://doi.org/10.1109/icccnt49239.2020.9225547>

Salazar, J., & Silvestre, S. (2016). *Internet de las cosas. Techpedia. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická*.  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf)

Muñoz, J. S. C., & Benavides, A. C. M. (2010). “Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible”. *Revista Dialnet*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3875676>

Arias, Á. (2015). *Computación en la Nube: 2ª Edición*. IT Campus Academy.

Aguayo, P. (2004). Introducción al Microcontrolador. Artículo, noviembre.  
[https://www.academia.edu/17264316/Micro?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover\\_page](https://www.academia.edu/17264316/Micro?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page)

Blázquez, J. P. (2015). Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos. FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya.  
[https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia\\_y\\_desarrollo\\_en\\_dispositivos\\_moviles/Tecnologia\\_y\\_desarrollo\\_en\\_dispositivos\\_moviles\\_\(Modulo\\_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_1).pdf)

Espinosa-Espinosa, J. L., Palacios-Vélez, E., Tijerina-Chávez, L., Flores-Magdaleno, H., & Quevedo-Nolasco, A. (2017). “Sistema de monitoreo satelital para el seguimiento

y desarrollo de cultivos del Distrito de Riego 038”. *Tecnología y ciencias del agua*.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n1/2007-2422-tca-8-01-00095.pdf>

Rivera Mario (2020).” Diseño e implementación de una red de sensores auto-configurable utilizando transceptores NRF24L01”.

[https://www.researchgate.net/profile/Mario\\_Rivera\\_Lopez/publication/345686677](https://www.researchgate.net/profile/Mario_Rivera_Lopez/publication/345686677)

[Tesis\\_Mario\\_Manuel\\_Rivera\\_Lopez/links/5faac1c9a6fdcc331b92cf1e/Tesis-Mario-Manuel-Rivera-Lopez.pdf](https://www.researchgate.net/publication/345686677_Tesis_Mario_Manuel_Rivera_Lopez/links/5faac1c9a6fdcc331b92cf1e/Tesis-Mario-Manuel-Rivera-Lopez.pdf)

Misbah Ullah, Ali Zeb, Shehzad Ayaz, Yasir Mehmood (2021). “Short Range Communication Protocols: From Intelligent Transportation Perspective”.

<https://irjmets.com/rootaccess/forms/uploads/IRJMETs417701.pdf>

Martinez Orozco, F. F., & Callejas Piñeros, J. F. (2016). Callejas Piñeros, J. F. (2016).

“Sistema de monitoreo para motocicletas con tecnología Arduino y Android”.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/7918/1110448165.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Villarreal Pichen, F. P. (2018). “Desarrollo de un prototipo eléctrico para el encendido y apagado de luces con arduino controlado desde una aplicación Android via Bluetooth para la escuela de tecnologías de la información del Senati zonal Ancash Huaraz ”.

[http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/6257/ARDUINO\\_ANDROID\\_VILLAREAL\\_PICHEN\\_FRAY\\_POLNSTER.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/6257/ARDUINO_ANDROID_VILLAREAL_PICHEN_FRAY_POLNSTER.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Batteryuniversity.com. 2021. *Secondary (Rechargeable) Batteries – Battery University*.

Recuperado de: [https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary\\_batteries/1](https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries/1)

- Cavero, S. I. V., & Para. (2019). “Diseño e Implementación De Un Sistema Monitoreo Inalámbrico De Bancos De Baterías Utilizando En Arduino Mega 2560”. Universidad Tecnológica Del Perú, p119.  
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2544>
- Valderrama, J., & Brea, E. (2020). “ESP8266: Un microcontrolador para el Internet de las Cosas. Universidad Central de Venezuela”, Consultado el 8 de mayo del 2021 del sitio web: <http://190.169.126.7/jifi2018/documentos/electronica/ERT-006.pdf>
- Campoverde, A. M., Hernández R., D. L., & Mazón O., B. E. (2015). “Cloud computing con herramientas open-source para Internet de las cosas”. Maskana, 6(Supl.), 173–182. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/712>
- Dingrando, L. (2010). Celda electroquímica. Consultado el 1 de Enero.
- Comunidad Huawei Enterprise. 2021. *APORTACIÓN: Principales protocolos del modelo TCP/IP - Comunidad Huawei Enterprise*. Consultado el 15 de febrero del 2021 <https://forum.huawei.com/enterprise/es/aportaci%C3%B3n-principales-protocolos-del-modelo-tcp-ip/thread/550505-100235>
- Nodered.org. 2021. “Node-RED”. Consultado el 15 de febrero del 2021: <https://nodered.org>.
- OpenJS Foundation. 2021. “OpenJS Foundation”. Consultado el 15 de febrero del 2021: <https://openjsf.org>.
- Node-Red. (n.d.). *Node-RED dashboard User Manual Getting started*.

<https://aws.amazon.com/>. 2021. Consultado el 15 de febrero del 2021:

<https://pages.awscloud.com/GLOBAL-multi-DL-gartner-mq-cips-2020-learn.html?pg=LWIAWS>

Bankinter, F. de la I. (2011). El Internet de las Cosas Bankinter. *El Internet de Las Cosas- En Un Mundo Conectado de Objetos Inteligentes*, 1(2), 77.

Dev.mysql.com. 2021. *MySQL :: MySQL 8.0 Reference Manual :: 1.2.1 What is MySQL?*.

Consultado el 15 de febrero del 2021:

<https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/what-is-mysql.html>

Systems, E. (2020). ESP8266EX Datasheet. *ESP8266EX Datasheet, Version 6.*, 30.

Instruction Manual Soil Nitrogen, Phosphorus And Potassium Three-In-One. (2021).

*SOIL NITROGEN,PHOSPHORUS AND POTASSIUM THREE-IN-ONE TRANSMITER TYPE RS485, VER 2.0*, 15.

Barrio Andrés, M., 2018. *Internet de las cosas*. Madrid: Reus.

Gomez Fuentes, M., 2013. Notas del curso bases de datos. 1st ed. México: Universidad Autónoma Metropolitana, p.5.

Date, C.J. (2001). Introducción a los sistemas de bases de datos (7ª ed.). Prentice Hall.

Pérez, Juan, Urdaneta, Elizabeth, & Custodio, Ángel. (2014). “Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos. Universidad, Ciencia y Tecnología”, 18(70),

12-22. Recuperado en 16 de junio de 2021, de

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212014000100002&lng=es&tlng=es.](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212014000100002&lng=es&tlng=es)

Monteford, M. (2013), “Comparación de Métodos de Análisis de Riesgo en Oleoductos”. Universidad Nacional Autónoma de México. México-México.

Miranda, D. (2020), “Mandarina”.  
[https://editorial.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion\\_bogota/Manuales/16-manual-mandarina-2020-EBOOK.pdf](https://editorial.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/Manuales/16-manual-mandarina-2020-EBOOK.pdf)

EAP (Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano). 2012. Manual de riego y drenaje. Honduras. Módulo N.º5 ISBN: 1-885995-76-8

Oqueli, A. y Landa, D. (2020). Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura.

## **ANEXOS**

### Anexo 1: Área del Cultivo.

En busca de una alternativa para ahorrar fertilizantes y mejorar el proceso de fertilización en la plantación de mandarina en Huaral, se preguntó a los agricultores si podrían aportar información respecto a los procesos de fertilización. Para lo cual nos pusimos en contacto con uno de los administradores del campo, que nos facilitó el acceso a las diferentes áreas de cultivo, donde se pudo extraer información de la cual usamos en esta investigación.



*Fuente: Google maps.*

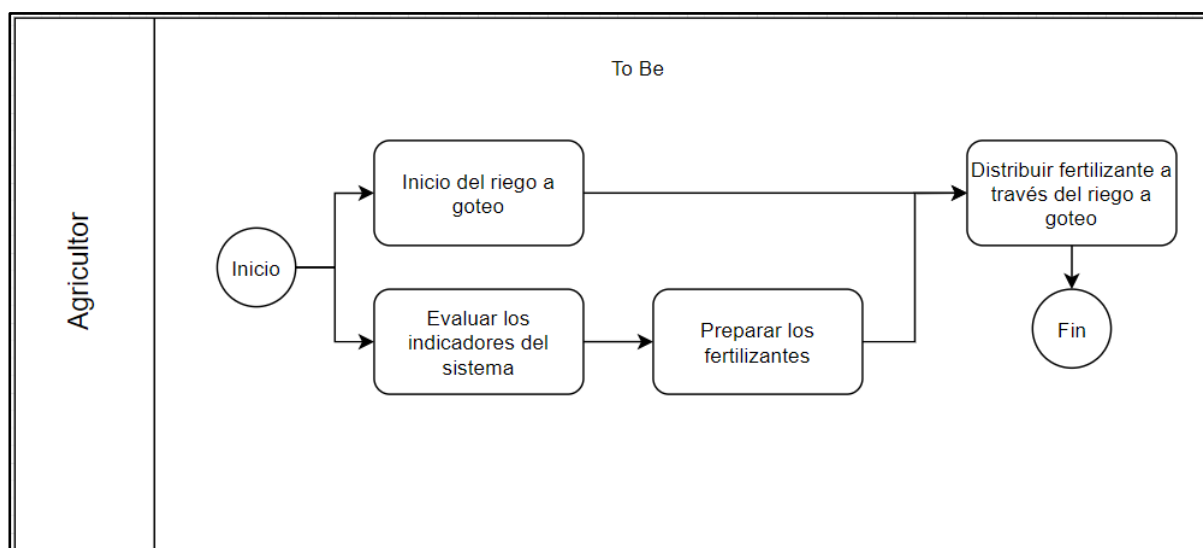
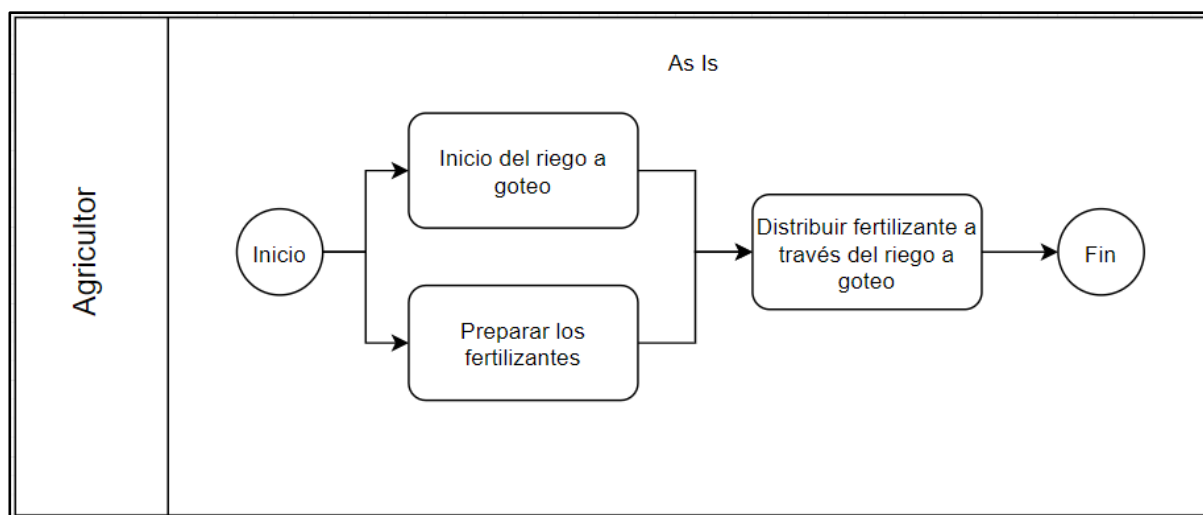
**Anexo 2:** Requerimientos de fertilizantes para un cultivo de mandarina.

| PLANTA DE 30 AÑOS EN PRODUCCION- DENSIDAD (Plantas /ha) |      |       |  | 600 |       |       |        |  | 1 | hhas |
|---------------------------------------------------------|------|-------|--|-----|-------|-------|--------|--|---|------|
|                                                         |      |       |  |     | N     | P     | K      |  |   |      |
| NITRATO DE AMONIO-(N.33-P.3-K.0-)                       | 780  | KILOS |  |     | 257.4 | 23.4  |        |  |   |      |
| ACIDO FOSFORICO (N.0-P.85-K.0)                          | 136  | KILOS |  |     |       | 115.6 | 46.24  |  |   |      |
| N- POTASIO CRISTALIZADO -(N.12-P.0-K.46)                | 650  | KILOS |  |     | 78    |       | 299    |  |   |      |
| NITRATO DE CALCIO-(N.15-Ca.26)                          | 50   | KILOS |  |     | 7.5   |       |        |  |   |      |
| NITRATO DE MAGNESIO -(N.11-Mg.15)                       | 100  | KILOS |  |     | 11    |       |        |  |   |      |
|                                                         | 1716 | KILOS |  |     | 353.9 | 139   | 345.24 |  |   |      |

*Fuente: Elaboración Propia a partir de los datos proporcionados del cultivo.*

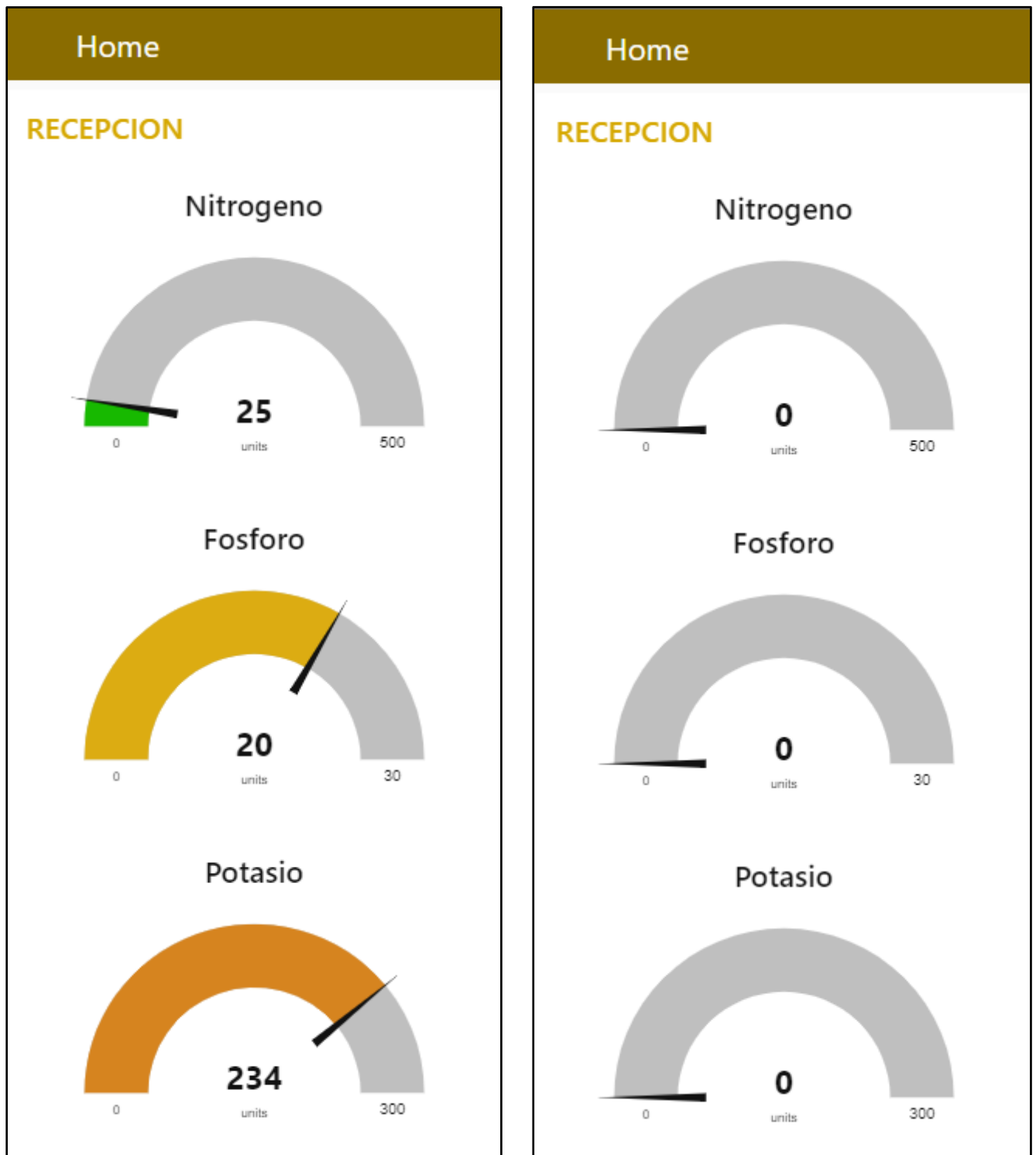


**Anexo 3: Diagrama As Is y To be.**



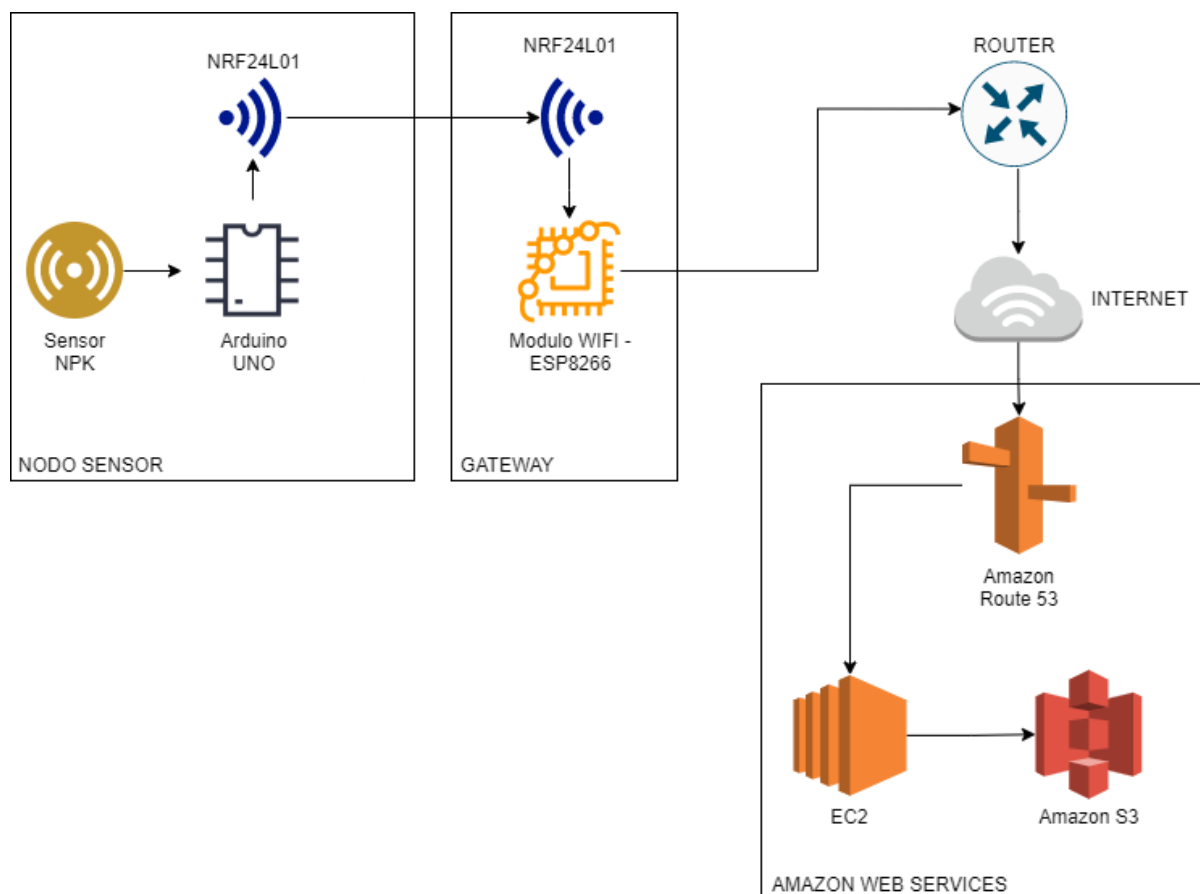
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Anexo 4:** Interfaz de la Aplicación web vista desde un smartphone.



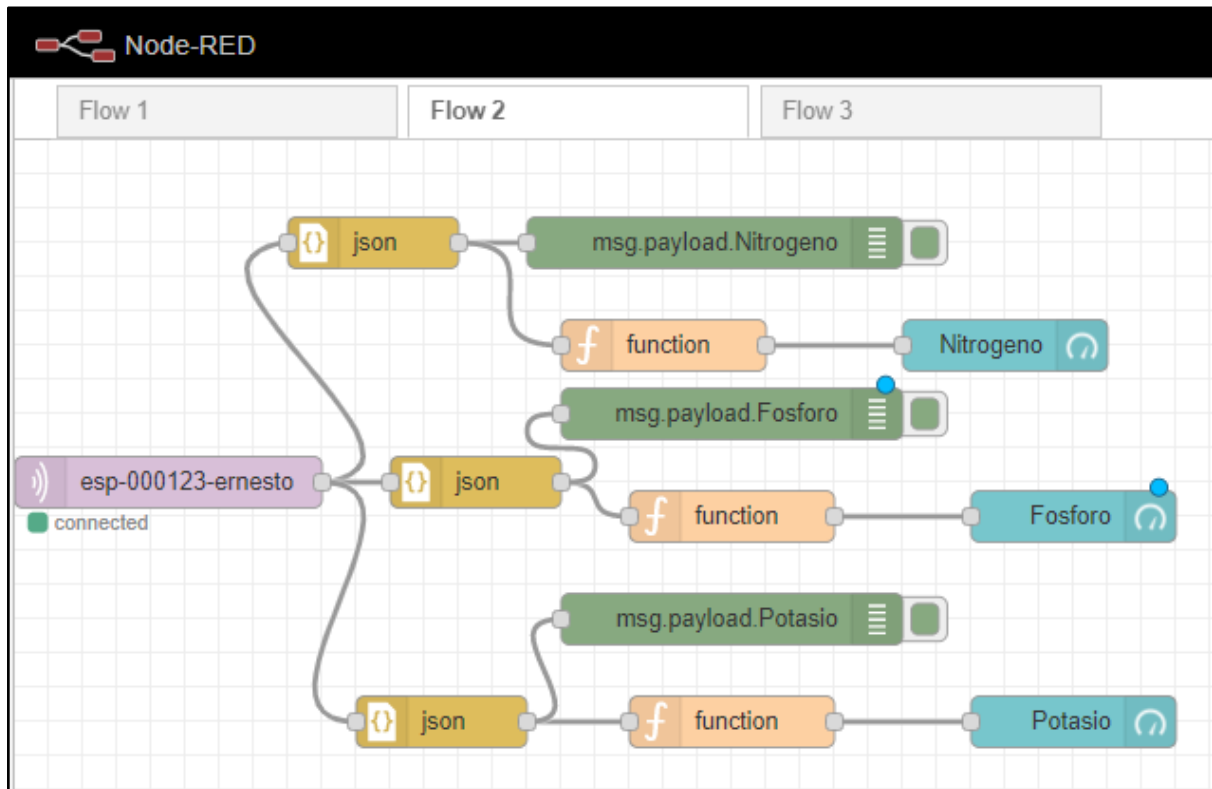
*Fuente: Elaboración Propia.*

## Anexo 5: Diseño del sistema de Internet de las Cosas.



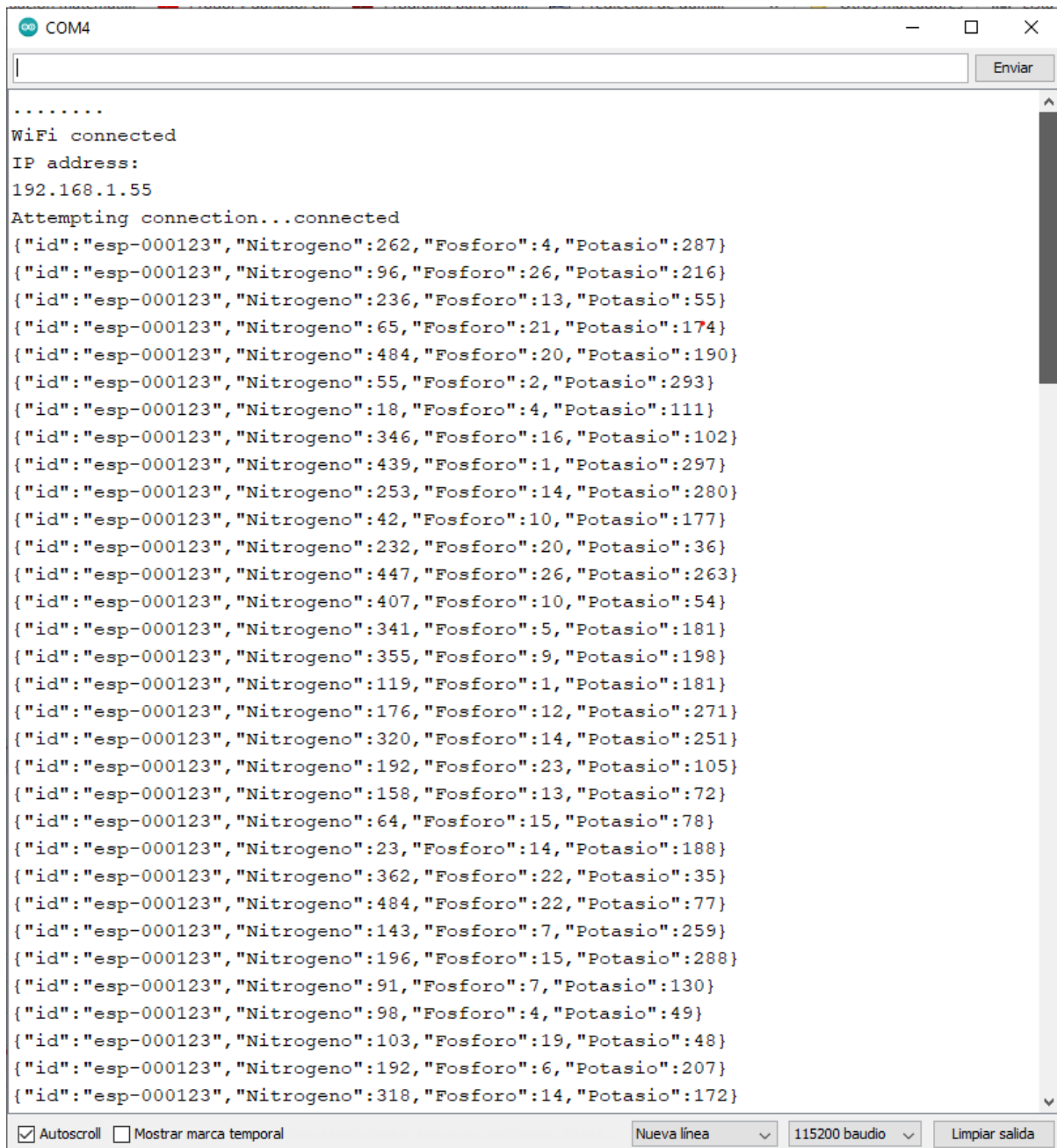
Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 6: Flujo de Node-Red.



Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 7: Salida de datos del sensor NPK mediante consola Arduino.



```
.....
WiFi connected
IP address:
192.168.1.55
Attempting connection...connected
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":262,"Fosforo":4,"Potasio":287}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":96,"Fosforo":26,"Potasio":216}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":236,"Fosforo":13,"Potasio":55}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":65,"Fosforo":21,"Potasio":174}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":484,"Fosforo":20,"Potasio":190}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":55,"Fosforo":2,"Potasio":293}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":18,"Fosforo":4,"Potasio":111}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":346,"Fosforo":16,"Potasio":102}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":439,"Fosforo":1,"Potasio":297}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":253,"Fosforo":14,"Potasio":280}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":42,"Fosforo":10,"Potasio":177}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":232,"Fosforo":20,"Potasio":36}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":447,"Fosforo":26,"Potasio":263}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":407,"Fosforo":10,"Potasio":54}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":341,"Fosforo":5,"Potasio":181}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":355,"Fosforo":9,"Potasio":198}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":119,"Fosforo":1,"Potasio":181}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":176,"Fosforo":12,"Potasio":271}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":320,"Fosforo":14,"Potasio":251}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":192,"Fosforo":23,"Potasio":105}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":158,"Fosforo":13,"Potasio":72}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":64,"Fosforo":15,"Potasio":78}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":23,"Fosforo":14,"Potasio":188}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":362,"Fosforo":22,"Potasio":35}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":484,"Fosforo":22,"Potasio":77}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":143,"Fosforo":7,"Potasio":259}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":196,"Fosforo":15,"Potasio":288}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":91,"Fosforo":7,"Potasio":130}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":98,"Fosforo":4,"Potasio":49}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":103,"Fosforo":19,"Potasio":48}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":192,"Fosforo":6,"Potasio":207}
{"id":"esp-000123","Nitrogeno":318,"Fosforo":14,"Potasio":172}
```

☒ Autoscroll ☐ Mostrar marca temporal Nueva línea 115200 baudio Limpiar salida

*Fuente: Elaboración Propia.*

## Anexo 8: Cuestionarios.

### Cuestionario sobre la agricultura tecnológica en Huaral, 2021

Lea los siguientes ítems, responda las preguntas y marque con una X dentro del paréntesis.

#### Variable independiente: Internet de las Cosas

- ¿Tiene usted interés en adquirir conocimientos sobre los sistemas de internet de las cosas en el campo de la agricultura?

SI ( )

NO ( )

- ¿Se hace uso de Sistemas con internet de las cosas en la agricultura en la Región Huaral?

SI ( )

NO ( )

- ¿Emplearía el sistema de internet de las cosas para medir el nivel de los macronutrientes del suelo?

SI ( )

NO ( )

- ¿La aplicación web que permite visualizar la información de los macronutrientes del suelo aplicando el sistema de internet de las cosas es amigable?

SI ( )

NO ( )

- ¿El acceso a la interfaz del usuario de la aplicación web puede realizarse desde el sistema operativo que utiliza?

SI ( )

NO ( )

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Variable dependiente: Proceso de Fertilización en plantaciones de mandarinas**

- ¿Se podría optimizar la cantidad de kilogramos de fertilizantes por hectárea empleando Internet de las Cosas?

SI ( )

NO ( )

- ¿Es posible calcular la cantidad de macronutrientes que requiere el terreno agrícola para la fertilización de mandarinas utilizando el internet de las cosas?

SI ( )

NO ( )

- ¿Es viable la optimización del número de aplicaciones de fertilizantes por semana utilizando el internet de las cosas?

SI ( )

NO ( )

- ¿Se reduce el consumo de la energía eléctrica en las actividades de fertilización de los cultivos de mandarina utilizando el internet de las cosas?

SI ( )

NO ( )

- ¿El beneficio en la fertilización de mandarinas podría justificar los costos implementación del internet de las cosas?

SI ( )

NO ( )

- ¿La medición de los macronutrientes NPK del terreno agrícola de mandarinas pueden ser monitoreadas remotamente?

SI ( )

NO ( )

- ¿Usted emplearía el internet de las cosas para optimizar el consumo de fertilizantes en cultivos de mandarina?

SI ( )

NO ( )

- ¿Es viable la adquisición de sensores del internet de las cosas en la fertilización de las mandarinas?

SI ( )

NO ( )

- ¿Cree que es útil la integración de Internet de las Cosas en la fertilización de los terrenos de cultivo de mandarinas?

SI ( )

NO ( )

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Anexo 9: Tabla de base de datos.**

| ←T→                      |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            | ▼ ID | Dispositivo | Fosforo | Potasio | Nitrogeno | Fecha_hora          |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|---------|---------|-----------|---------------------|
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 1    | esp-000123  | 4       | 287     | 264       | 2022-01-15 00:00:00 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 2    | esp-000123  | 96      | 26      | 216       | 2022-01-15 00:00:30 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 4    | esp-000123  | 65      | 21      | 174       | 2022-01-15 00:01:00 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 5    | esp-000123  | 484     | 20      | 190       | 2022-01-15 00:01:30 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 6    | esp-000123  | 55      | 2       | 293       | 2022-01-15 00:02:00 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 7    | esp-000123  | 18      | 4       | 111       | 2022-01-15 00:02:30 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 8    | esp-000123  | 346     | 16      | 102       | 2022-01-15 00:03:00 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 9    | esp-000123  | 439     | 1       | 297       | 2022-01-15 00:03:30 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 10   | esp-000123  | 253     | 14      | 280       | 2022-01-15 00:04:00 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar   |  Copiar   |  Borrar   | 11   | esp-000123  | 42      | 10      | 177       | 2022-01-15 00:04:30 |
| <input type="checkbox"/> |  Editar |  Copiar |  Borrar | 12   | esp-000123  | 232     | 20      | 36        | 2022-01-15 00:05:00 |



### **Anexo 10: Sensor NPK y puerto.**



Fuente: Elaboración Propia

Este es un sensor de Nitrógeno Fosforo y Potasio el cual tiene una resolución de 1 mg/l , y usa el puerto de comunicación RS485

## Anexo 11: *Nodo Final*



Fuente: Elaboración Propia

El Arduino uno utilizado fue adquirido por medios propios de los tesistas



## Anexo 12: Nodo Final



Fuente: Elaboración Propia

El ESP8266 utilizado fue adquirido por medios propios de los testistas