

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**



**INFORME DE TESIS**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN TACNA, 2018.”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller Christian César Acero Catacora**

**TACNA-PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Tesis de Investigación**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN TACNA, 2018.”**

Tesis sustentada y aprobada el 13 de Diciembre de 2019; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE:**   
ING. TITO FERNANDO ALE NIETO

**SECRETARIO:**   
ING. ELARD RICARDO RODRIGUEZ MARCA

**VOCAL:**   
ING. LILIANA MERCEDES M. VEGA BERNAL

**ASESOR:**   
ING. ENRIQUE FELIX LANCHIPA VALENCIA

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Christian César Acero Catacora, en calidad de: bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 46686278.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

“Implementación de un Sistema de Internet de las Cosas para optimizar la Gestión del Agua en la Agricultura de la Región Tacna, 2018”, la misma que presento para optar:

El título profesional de Ingeniero de Sistemas.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 25 de noviembre de 2019



---

Christian César Acero Catacora

DNI: 46686278

## **DEDICATORIA**

A Dios por la vida que me ha ofrecido, lo aprendido, lo malo y lo bueno. Con todo mi amor quiero agradecer a mis padres, Cesario y Ofelia, a quienes estaré eternamente agradecido por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, ya que sin ellos no sería posible concluir mi proyecto de investigación.

## **AGREDECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme fortaleza y la constancia necesaria para culminar mi tesis titulada: "Implementación de un Sistema de Internet de las Cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna, 2018."; y permitir tener a mis padres César Acero Mamani y Ofelia Catacora Yufra, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Un agradecimiento a mi asesor, Ing. Enrique Lanchipa Valencia, por su asesoramiento, dedicación y apoyo brindado durante el desarrollo de la presente tesis.

Al Mg. Ing. Julio Mosaja Churata por la información y conocimientos brindados en el tema de automatización y control de procesos, por su sostenido apoyo y motivación para mi formación completa como investigador.

Los señores Fidel Castro Vicente, Santos Castro Vargas y Sra. Marta Sucso Alférez por el terreno brindado para la implementación del proyecto, su tiempo para la instalación de los instrumentos.

Por ello, muchas gracias a mis docentes, amigos, compañeros que, de alguna forma, participaron de este proyecto de vida, el cual me hizo aprender más y, sobre todo, a formarme como persona.

**CHRISTIAN CÉSAR ACERO CATACTORA**

## ÍNDICE

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.1. Descripción del problema.....	7
1.2. Formulación del problema.....	10
1.2.1. Problema General.....	10
1.2.2. Problemas Específicos.....	10
1.3. Justificación e importancia.....	10
1.3.1. Justificación.....	10
1.3.2. Importancia.....	12
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo General.....	13
1.4.2. Objetivos específicos.....	13
1.5. Hipótesis.....	13
1.5.1. Hipótesis general.....	13
1.5.2. Hipótesis específicas.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes de estudio.....	14
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	14
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.2.1. Internet de las Cosas.....	19
2.2.2. Gestión del agua en la agricultura.....	25
2.3. Definiciones de términos.....	33
2.3.1. Máquina a máquina (M2M).....	33
2.3.2. Computación en la nube (Cloud computing).....	33
2.3.3. Microcontrolador.....	34
2.3.4. Sensor.....	34
2.3.5. Actuador.....	35
2.3.6. Energía sostenible.....	35
2.3.7. Control de procesos.....	36
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	37
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	37
3.2. Población y/o muestra de estudio.....	
3.2.1. Población.....	
3.2.2. Muestra.....	37
3.3. Operacionalización de variables.....	37
3.3.1. Definición de las variables:.....	37

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	41
3.4.1. Técnicas .....	41
3.4.2. Instrumentos.....	41
3.5. Procesamiento y análisis de datos .....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	42
4.1. Variable independiente: Sistema de Internet de las cosas .....	42
4.1.1. Uso.....	42
4.1.2. Conocimiento.....	43
4.1.3. Utilidad .....	44
4.2. Variable dependiente: Gestión de agua en la agricultura .....	46
4.2.1. Nivel.....	46
4.2.2. Esfuerzo.....	47
4.2.3. Gasto .....	48
4.3. Análisis de resultados de las encuestas.....	49
4.4. Características del sistema de riego por goteo .....	49
4.5. Resultado obtenido del sistema de riego por goteo sin optimización .....	50
4.5.1. Eficiencia del transporte del agua .....	51
4.6. Características del Sistema de Internet de las Cosas, Damla.....	52
4.7. Sistema de regadío tradicional y regadío con Damla.....	53
4.8. Contraste de hipótesis .....	55
4.9. Costo beneficio.....	57
4.9.1. Inversión Inicial para funcionamiento tecnológico .....	57
4.9.2. Cuantificación económica según la mediana de riego efectivo.....	58
4.9.3. Cuantificación económica de los datos registrados por mes .....	60
4.9.4. Viabilidad del proyecto .....	63
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	69
CONCLUSIONES .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## ANEXOS

ANEXOS .....	76
ANEXO 1: DAMLA, SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS.....	77
ANEXO 2: DISEÑO Y ENSAMBLADO DE DISPOSITIVO DAMLA .....	84
ANEXO 3: ÁREA DEL CULTIVO.....	93
ANEXO 4: INSTALACIÓN .....	101
ANEXO 6: MANUAL DE USUARIO.....	112
ANEXO 7: COSTO DE INVESTIGACIÓN.....	125
ANEXO 6: DATASHEETS DE SENSORES Y MICROCONTROLADOR.....	127

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del agua en el mundo.....	3
Figura 2: Consumo total de agua para riego por región, 1995 y 2025.....	7
Figura 3. Proceso de evapotranspiración del cultivo .....	27
Figura 4. Esquema del flujo en el sistema de drenaje de riego:.....	29
Figura 5. Pregunta 1 .....	42
Figura 6. Pregunta 2 .....	44
Figura 7. Pregunta 3 .....	45
Figura 8. Duración de regadío(Horas).....	50
Figura 9. Cantidad de litros de consumo en el riego del cultivo .....	51
Figura 10. Horas de riego del Sistema con Damla .....	52
Figura 11. Cantidad de agua usada en el riego, Damla .....	53
Figura 12. Eficiencia entre sistemas de riego (Horas) .....	53
Figura 13. Comparación de sistemas de riego (Litros) .....	54
Figura 14. Inversión Inicial del propietario.....	58
Figura 15. Diferencia económica del uso agua .....	61
Figura 16. Diferencia económica del uso de energía eléctrica.....	62
Figura 17. Tiempo de viaje del agricultor .....	67
Figura 18. Arquitectura de Hardware de Damla.....	79
Figura 19 Diagrama de componentes. ....	80
Figura 20. Diagrama de despliegue .....	80
Figura 21: Dashboard sobre datos del microclima y estado de válvulas y bomba ..	81
Figura 22: Vista Responsiva.....	82
Figura 23. Microcontrolador ESP32 .....	85
Figura 24. Diseño 3D de la placa de actuadores .....	86
Figura 25. Diseño 3D de la placa de sensores .....	86
Figura 26. Prototipo funcional del dispositivo de sensores.....	87
Figura 27. Dispositivos Damla, Actuadores y sensores respectivamente.....	88
Figura 28. Diseño de la placa del circuito de Damla sensores.....	89
Figura 29. Diseño de la placa del circuito Damla de actuadores/relay.....	89
Figura 30. Diagrama esquemático de la placa de sensores.....	90
Figura 31. Diagrama esquemático de la placa de actuadores .....	91
Figura 32. Área del terreno de cultivo. ....	94
Figura 33. Vista amplia del terreno de cultivo .....	95

Figura 34. Reservorio .....	96
Figura 35. Tubería de succión .....	97
Figura 36. Riego tecnificado por goteo.....	98
Figura 37. Tubería principal para el riego, una troncal de 2” .....	99
Figura 38. Controlador de riego por temporizador .....	99
Figura 39. Bomba de cuarto de control .....	100
Figura 40. Instalación, excavado .....	102
Figura 41. Instalación: Puesta .....	103
Figura 42. Dispositivo Damla Sensores instalado.....	104
Figura 43. Posicionar el sensor de humedad de suelo .....	105
Figura 44. Excavación para sensor de humedad de suelo.....	106
Figura 45: Instalación de sensor de humedad de suelo. ....	107
Figura 46. Puesta en marcha, Damla Sensores .....	108
Figura 47. Tablero de control de bomba y válvulas. ....	109
Figura 48. Instalación de Damla Contactores/Actuadores.....	110
Figura 49. Puesta en marcha Damla Contactores/Actuadores .....	111
Figura 50. Dashboard de control y monitoreo .....	116

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Uso de un fertilizador con agua.....	23
Tabla 2: Valores típicos de eficiencia en diferentes sistemas de riego .....	31
Tabla 3. Variable independiente: Sistema de Internet de las Cosas .....	38
Tabla 4. Variable dependiente: optimizar la gestión del agua en la agricultura .....	39
Tabla 5. Pregunta 1.....	42
Tabla 6. Pregunta 2.....	43
Tabla 7. Pregunta 3.....	45
Tabla 8. Pregunta 4.....	46
Tabla 9. Pregunta 5.....	47
Tabla 10. Pregunta 6 .....	48
Tabla 11. Grupo estadístico.....	56
Tabla 12. Prueba de muestras independientes .....	56
Tabla 13. Inversión Inicial del propietario .....	57
Tabla 14. Gasto económico de Damla con respecto a la electricidad.....	58
Tabla 15. Gasto económico de sistema de riego tradicional con respecto a la electricidad .....	59
Tabla 16. Diferencia de costo energético diario entre ambos sistemas .....	59
Tabla 17. Ahorro económico energético de acuerdo a la mediana de hora efectivas de riego .....	59
Tabla 18. Ahorro económico de agua de acuerdo a la mediana de hora efectivas de riego.....	60
Tabla 19. Diferencia económica del uso agua .....	60
Tabla 20. Diferencia económica del uso de energía eléctrica .....	61
Tabla 21. Recorrido en kilómetros.....	62
Tabla 22. Consumo económico en combustible .....	63
Tabla 23. Ahorro económico total.....	63
Tabla 24. Ahorro beneficio con autonomía- Damla como producto .....	64
Tabla 25. Ahorro beneficio con autonomía y control remoto- Damla como servicio	64
Tabla 26. Ahorro beneficio- Flujo de ingreso .....	65
Tabla 28. Tiempo invertido en riego .....	67
Tabla 29. Comparación de tamaño de codificación entre diferentes tecnologías de intercambio de datos.....	83
Tabla 30. Costo y componentes del dispositivo Damla Actuadores.....	91

Tabla 31. Costo y componentes del dispositivo Damla sensores .....	92
Tabla 32. Indicadores de dashboard de control y supervisión .....	117
Tabla 33. Costo de la investigación.....	126

## RESUMEN

El diseño óptimo de un sistema autónomo para la gestión del recurso hídrico en la agricultura es consecuencia de un estudio detallado sobre las condiciones en el cual funcionará el sistema, las cuales deben cumplir exigencias de ingeniería y estándares internacionales de seguridad y control para garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.

En este contexto se aplica el concepto de Internet de las Cosas en conjunto con un Sistema de Control, para la optimización del proceso de regadío tradicional, optimización de la gestión del agua, mejora del producto final y ahorro de energía y tiempo.

La suma de esfuerzos para realizar un sistema autónomo controlado y monitoreado desde Internet, se define actualmente como Smart Farming o Agricultura Inteligente, es la mezcla de tecnologías informáticas y dispositivos capaces de interrelacionarse entre sí, para ofrecer al usuario el control, autonomía y análisis de datos en tiempo real para la toma de decisiones. En tal sentido, para la comprobación de su optimización de la gestión del agua se ha establecido la comparación de un sistema de regadío con Internet de las Cosas y un sistema de regadío tradicional manual.

Es importante indicar que el terreno de cultivo está tecnificado, para regar por el método de goteo, el cual es activado por el agricultor o se programa el tiempo de un dispositivo para que se riegue entre diferentes escalas de tiempo. El terreno también cuenta con un reservorio de 600 000 litros de agua para 3535 m<sup>2</sup> de área de cultivo.

Los resultados indicaron que la implementación de un Sistemas de Internet de las Cosas, denominado Damla, optimizó el uso del recurso hídrico hasta un 21.25 % en el riego del cultivo e indirectamente el ahorro de energía por el uso de las bombas de agua.

**Palabras clave:** Internet de las Cosas; control de procesos; sistemas de información; agricultura inteligente.

## ABSTRACT

The optimal design of an autonomous system for the management of water resources in agriculture is the result of a detailed study on the conditions in which the system will operate, which must meet engineering requirements and international safety and control standards to ensure stability and, in particular, being robust against disturbances and errors in the models.

In this context, the Internet of Things concept is applied in conjunction with a Control System, for the optimization of the traditional irrigation process, optimization of water management, improvement of the final product and saving of energy and time.

The sum of efforts to make an autonomous system controlled and monitored from the Internet, is currently defined as Smart Farming or Intelligent Agriculture, is the mixture of computer technologies and devices capable of interrelated with each other, to offer the user the control, autonomy and analysis of Real-time data for decision making. In this regard, the comparison of an irrigation system with the Internet of Things and a traditional manual irrigation system has been established to verify its optimization of water management.

It is important to indicate that the cultivation land is technified, to irrigate by the drip method, which is activated by the farmer or the time of a device is programmed to be watered between different time scales. The land also has a reservoir of 600,000 liters of water for 3535 m<sup>2</sup> of cultivation area.

The results indicated that the implementation of an Internet of Things System, called Damla, optimized the use of water resources up to 21.25% in crop irrigation and indirectly the energy savings from the use of water pumps.

**Keywords:** Internet of Things; process control; information systems; smart farming.

## INTRODUCCIÓN

*“Hay mucha agua sin vida en el universo, pero en ninguna parte hay vida sin agua”.*

*Sylvia A. Earle, Un mensaje de los océanos (1935).*

El mundo está experimentando un continuo desarrollo tecnológico. Los avances tecnológicos recientes están permitiendo el desarrollo y lanzamiento de productos electrónicos cada vez más pequeños y sofisticados de bajo costo. Actualmente estas tecnologías se utilizan en una variedad de sectores; la agricultura es seguramente uno de ellos. Por siglos la agricultura desempeñando un papel importante en la economía de cada cultura, país y nación. Así, es como la producción agrícola ha experimentado la mejora continua de sus procesos producción y técnicas. Una sus mejoras hace algunas décadas es agricultura de precisión (AP).

El objetivo principal de la agricultura de precisión es, mediante la recolección de datos del medio ambiente o microclima, mejorar la calidad de los productos y mantener una agricultura sostenible. Para lograrlo, se quiere de optimizar los recursos utilizados en los procesos agrícolas, principalmente en el sistema de riego. Entonces el agua juega un papel crucial en el ciclo de vida de las plantas y la de todos los seres vivos.

Por ello, el agua proporcionada por la precipitación natural, como las lluvias, no proporcionan la cantidad de agua que las plantas requieren para crecer de manera saludable. Al ser un recurso escaso, se determinó que al menos el 3% del agua del mundo es dulce, siendo el agua de mar restante y no potable. El 2.5% de este 3% está congelado, es decir, la humanidad debe confiar en el 0.5% del agua restante, tal como indican el informe de Fry (2005).



*Figura 1. Distribución del agua en el mundo*

*Fuente: UNESCO, Agua para todos, agua para la vida: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.*

La agricultura consume alrededor del 70% del agua dulce. Este porcentaje puede disminuirse realizando una gestión eficiente del agua cuando se trata de riego. El riego de precisión es un concepto que lleva años de aplicación el cual ha mejorado el uso de agua en el riego de los cultivos, pero con un cambio climático que está tocando las puertas de algunos países y alertando sobre posibles sequías, nos es indiferente no pensar en nuevas formas y técnicas para mejorar las técnicas de riego existentes.

Según Hedley & Yule (2013) es importante plantear la optimización según:

- Calidad del cultivo, se busca proporcionar al cultivo la cantidad exacta de agua que necesitan, no solo ahorraría agua, sino que también mejoraría la calidad del cultivo. En última instancia, el ahorro de agua no generaría grandes beneficios si no se combina con la mejora de la calidad del cultivo.
- Económicos, el costo del agua seguirá creciendo junto con la disminución de la disponibilidad de agua dulce. Al proporcionar soluciones para que el cultivo reciba la cantidad correcta de agua, se puede ahorrar dinero. El rendimiento también se puede aumentar, y con ello, su beneficio comercial.
- El ahorro del agua, siendo su objetivo principal aplicar la cantidad precisa de agua de acuerdo con las necesidades de agua del cultivo. Se busca poder regar las plantas de forma más selectiva y precisa de acuerdo con las necesidades individuales de las plantas. Los estudios han demostrado que es posible tener ahorros significativos de agua del 8 al 27%.

De la misma manera, Kamienski, Soininen & otros (2019), manifiestan que una gestión inteligente del agua para el riego de precisión es esencial para incrementar la calidad del cultivo y disminuir costos, mientras que contribuye a la sostenibilidad ambiental. Es por ello que el uso de Internet de las Cosas es la opción natural para las aplicaciones inteligentes para la gestión del agua.

En el área de la optimización de riego basado en Deep Learning e Internet de las cosas en sistemas de bombeo para riego de precisión, Ahamed (2019), manifiesta que los sistemas basados en Internet de las cosas proporcionan soluciones a los agricultores de gran escala. También manifiesta que gracias a la lectura de los datos recolectados por los sensores pueden ser gran utilidad para los

profesionales de la agricultura, ya que sirven para dar un seguimiento a tiempo real del cultivo.

Por ello, la implementación óptima de un sistema de Internet de las Cosas debe operar de manera autónoma y efectiva, con datos que son procesados a tiempo real para un análisis temprano de decisiones y el funcionamiento efectivo del proceso, esto se traduce en un ahorro de tiempo para operador o agricultor, mejora del cultivo y ahorro económico. En tal sentido, la experiencia ingenieril se convierte en un valor agregado, ya que ofrece una transformación de un sistema tradicional de regadío a un sistema autónomo moderno de primer mundo basado en la industria 4.0.

Es necesario señalar que para optimizar estos objetivos también se ha desarrollado dos dispositivos electrónicos, Damla, en cual cuenta con diferentes sensores para determinar el tiempo de irrigación efectiva. Damla funciona con energía renovable y lee parámetros del medio ambiente, enviándolos a un servidor en la nube para que sean visualizados desde una app web. Para ello se demostró su efectividad en relación con un sistema de regadío por goteo en un área de Olivos de 3535 m<sup>2</sup>, abastecida por un reservorio de 600000 litros.

La presente investigación abarca los siguientes capítulos. En el Capítulo I se plantea el problema de la investigación, caracterizándolo y delimitándolo en función a la problemática inmersa. Además, se formula el problema de estudio y consecuentemente la justificación, los objetivos y las hipótesis.

En el Capítulo II se presentan tanto los antecedentes del estudio internacional, nacional y local, así como los fundamentos teóricos que enmarcan y sustentan la presente investigación y la definición de términos.

En el Capítulo III se describe el proceso metodológico y se establece el tipo y diseño de investigación. En tal sentido, la población y muestra a estudiarse, la variable independiente y dependiente, las técnicas e instrumentos que sirvieron para la recolección de datos, los cuales se utilizaron durante el desarrollo de la investigación. Además, se presenta el procesamiento y análisis de los datos a estudiar.

En el Capítulo IV se comprueban los resultados obtenidos a partir de la aplicación del Sistemas de Internet de las Cosas con la comparación de un sistema tradicional de regadío sin criterios de optimización.

En el Capítulo V se desarrolla la discusión de los resultados obtenidos de la comparación de la aplicación del Sistemas de Internet de las Cosas con el sistema de riego tradicional sin criterios de optimización.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que se han utilizado en la elaboración del presente trabajo de investigación.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

*“La escasez de agua tiene un fuerte impacto en la producción de alimentos. Sin agua, las personas no tienen un medio para regar sus cultivos y, por lo tanto, para proporcionar alimentos a la población en rápido crecimiento.” (Sentlinger, 2004)*

Según el Instituto Internacional de Gestión del Agua, la agricultura, que consume alrededor del 70% de las extracciones de agua dependiendo del tipo de país, compite constantemente con los usos domésticos, industriales y ambientales por un suministro de agua escaso. Para 2025, la población mundial probablemente aumentará a 7.9 billones, de los cuales más del 80% vive en países en desarrollo y el 58% en áreas urbanas de rápido crecimiento, según las tendencias dietéticas esto se traducirá en una demanda de agua aún mayor si los alimentos producidos son para proporcionar una nutrición adecuada. En un intento de solucionar este problema cada vez mayor, muchas organizaciones mundiales están intentado formar métodos más efectivos de gestión del agua. (Mark, Cai, & A. Cline, 2002)

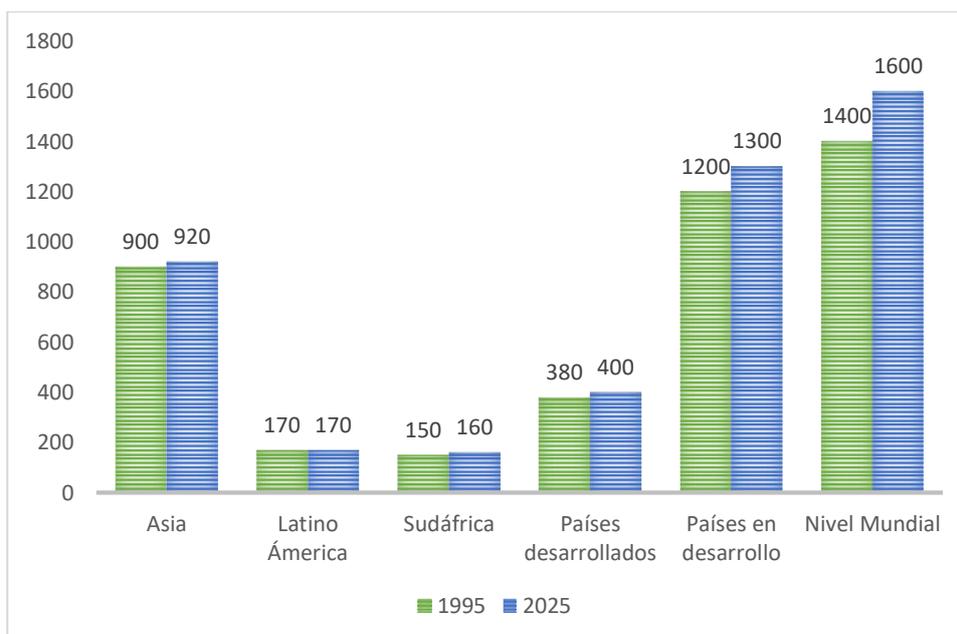


Figura 2: Consumo total de agua para riego por región, 1995 y 2025

Fuente: World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity

Es por eso que los gobiernos y organizaciones a nivel mundial están buscando soluciones innovadoras para tener una mejor gestión de sus recursos naturales, tales como el agua. El estrés hídrico, es decir, la disminución de la cantidad de agua consumible se está expandiendo a nivel mundial a un ritmo alarmante, de acuerdo con la ONU. Siendo la escasez de agua quien afecta a más del 40% de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático y el crecimiento de la población.

Esto ya ha obligado a los gobiernos ha concientizar a sus habitantes a tener un uso más responsable de este recurso. Científicos, empresas y start-ups están desarrollando tecnologías y sistemas que permiten un mejor uso del agua ya sea por sistemas de riego automatizado, sistemas de monitoreo de calidad del agua, invenciones para generar agua el aire o neblina, uso botellas especiales para limpiar el agua sucia y tornarla en potable. Entonces es posible purificar el agua sucia, pero es costoso e ineficiente. (Ciencias, 2018).

También ha obligado a organizaciones como la ONU desarrollar programas que plantean estrategias que se adoptan con el propósito de alejarse del límite planetario de los recursos hídricos y volver a equilibrar el ciclo del agua, garantizar la salud y la supervivencia humana, así como mitigar los efectos desfavorables generados por el cambio climático. (Staff, Forbes, 2018)

Un caso actual es del denominado “Día Cero” cuando al menos un millón de hogares en la Ciudad del Cabo, Sudáfrica, en julio de este año no tendrá más acceso al agua. Debido a la sequía de tres años no ha terminado. Esto en a mediano plazo podrá verse en otros países sino se toman medidas correctivas y preventivas (Leahy, 2018)

## **Perú**

Perú se encuentra entre los 30 países que enfrentan el estrés hídrico y la escasez más severos a nivel mundial. Siendo la agricultura el principal usuario de agua en nuestra sociedad, utilizando el 80% de los retiros totales para irrigar un área de 128'521,560 ha., solo en la región costa se encuentra un 11.6%, el cual tiene una mayor probabilidad de sufrir sequias. El uso doméstico, que tiene la prioridad de asignación según la ley, del 12.2% del

agua. Pero el 24% de los peruanos no tiene acceso a los servicios de agua, el 43% no tiene instalaciones de saneamiento básico y solo el 22% del agua residual doméstica es tratada adecuadamente. La minería y la industria consumen una proporción menor de la demanda nacional de agua y ambos sectores producen un valor económico significativamente más alto que los demás. Aunque el sector minero utiliza solo el 2% del total de extracciones de agua. (Alegria, 2013)

Además, las áreas de glaciares (2,600 Km<sup>2</sup>) se han reducido en un 22% en los últimos 27 a 35 años, los niveles de agua en las lagunas naturales y represas están descendiendo a falta de lluvia en la sierra, un gobierno que no gestiona bien el recurso hídrico, minería ilegal, descuido humano en empresas petroleras están acabando con este recurso tan valioso, por ende, se ven afectados la agricultura, ganadería y comunidad en general. A pesar que de que en el 2007 se fundó el programa Agua Limpia, Sierra Azul, programa administrado por el ministerio de agricultura, que se enfoca en el recurso hídrico en la sierra, poco se nota el apoyo en la agricultura al proponer soluciones innovadoras que logren una mejor gestión del recurso hídrico en la agricultura.

Los gobiernos regionales están implementando medidas necesarias para concientizar y sensibilizar al agricultor de que el agua es un recurso escaso, y como tal ha de ser tratado, dónde desde ya se ha visto la necesidad de implementar tecnología para optimizar su uso de manera más eficiente.

### **Local**

Hiam, D. (2019). Diseño de la prosperidad Sostenible. C. Galbez(Presidencia), Perumin 34, congreso llevado a cabo en Arequipa, Perú. Sostiene que la región norte de Chile y Sur del Perú se enfrentara a un déficit de agua en los próximos 10 años. También menciona que la implementación de plantas de tratamiento de agua aumenta el costo del proyecto y no es sostenible para las empresas mineras.

En Tacna, las partes interesadas en el agua actúan de manera independiente y competitiva, ya que algunas veces parecen consumir el agua de manera beligerante porque no están seguras de "lo que ganan al conservar". Hay una frustración constante entre el EPS y el sector agrícola, y la minería y la población. Si bien muchos estudios han relacionado la escasez

de agua con todo, desde el cambio climático hasta las demandas de agua en la minería, o la falta de educación sobre sostenibilidad, el caso particular de Tacna experimenta todas estas cosas. En otros lugares, la adaptación ha sido eficiente y efectiva en respuesta al empeoramiento de la disponibilidad de agua, pero en Tacna, se ha trabajado poco para la creación de soluciones innovadoras aplicables. (Conor, 2012)

En la Región de Tacna la falta de optimización de los recursos hídricos en la agricultura es baja, un ejemplo, desde la instauración del Distrito de Yarada- los Palos, hace ya casi cinco años se mencionaba en una entrevista al ex presidente Ollanta Humala que se buscaba una zona donde se haga agricultura Inteligente. Pese a los años han pasado y los gobiernos cambiando, solo se ha logrado un sistema de riego tradicionales. Está es una oportunidad para el uso de tecnologías que permitan al agricultor gestionar de manera más efectiva un recurso tan valioso como el agua, evitando que más gente siga haciendo perforaciones de pozos ilegales que sigan agotando el acuífero que tenemos.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál es la efectividad de la implementación de un sistema de Internet de las Cosas para optimizar la Gestión del agua en la Agricultura de la Región Tacna?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- a. ¿Cómo optimiza la aplicación de un sistema de Internet de las Cosas en la agricultura de la Región Tacna?
- b. ¿Cuán efectiva la implementación de un sistema de Internet de las Cosas en la solución del problema propuesto?

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación**

“El manejo del agua de riego tiene que adaptarse a los crecientes requerimientos de alimentos (...). Las principales tecnologías que se

utilizarán en los países en desarrollo con abundante mano de obra y escaso capital son el riego por goteo y subterráneo, que depende de pequeñas cantidades frecuentes de agua directamente a la zona de raíces de los cultivos. La agricultura siempre seguirá siendo el usuario más dominante de los recursos hídricos a nivel mundial y está destinada a aumentar especialmente en las regiones áridas y semiáridas". (Luquet, Vidal, Smith, & Dauzat, 2005)

Por ello resulta necesario implementar esta solución para evaluar el impacto al aplicar tecnologías de información para optimizar la gestión del agua en la agricultura, evaluando costo-beneficio de la propuesta de valor.

Además, los sistemas de información orientados a las exigencias del futuro tecnológico en la agricultura deben optimizar los recursos tales como el agua, calidad de tierra y energía ya que si no se implementan traerían consecuencias negativas para el agricultor a mediano y largo plazo para las áreas de cultivo, en especial en zonas áridas como la costa sur del Perú.

Por lo tanto, esta investigación buscó una solución para optimizar el recurso hídrico en la agricultura de la Región Tacna a través de la implementación de sistema IoT(Internet of Things), que está basado en un dispositivo propio, denominado Damla, que es un dispositivo embebido( compuesto de sensores y actuadores), también una aplicación web y una aplicación servidor para la comunicación entre Damla y la aplicación web. Así, en conjunto cumplan con el concepto de Internet of Things orientado a la agricultura. Permitiendo en base a diferentes sensores determinar el tiempo de riego óptimo, accionar válvulas y bomba de agua de manera autónoma. A lado del agricultor, la aplicación le permitirá visualizar el nivel de humedad del suelo, humedad relativa aire, temperatura ambiente, estados de motores y válvulas, adicionalmente permitirá visualizar nivel de radiación UV y calidad del aire para que el agricultor pueda utilizar los datos para la toma de decisiones sobre el cultivo. Para que cumpla con el concepto Internet of Things, todos los datos podrán ser visualizados desde cualquier parte del mundo ya que los dispositivos estarán conectados a Internet, en caso el usuario desee hacer una operación de manera remota, podrá hacerlo desde una app web.

De esta manera se busca que el agricultor pueda gestionar sus terrenos de manera remota, optimizar el recurso hídrico a través de la lectura y procesamiento de datos de los sensores.

A nivel del Perú empresas internacionales están ingresando al mercado proponiendo soluciones similares, pero a precios descomunales y poco accesibles para el agricultor. Es por ello que se plantea la implementación de un sistema de Internet of Things robusto que procese los datos de los sensores a tiempo real y sean visualizados a través de un HMI en diferentes dispositivos y lograr que sea accesible para los agricultores.

### **1.3.2. Importancia**

La presente investigación es importante porque permite al agricultor de la región Tacna tener un sistema capaz de funcionar de manera autónoma, recolecta información del microclima en el ambiente, ahorro energético y principalmente optimizar el recurso hídrico que es muy apreciado en una región que potencialmente sufrirá una escasez de agua a mediano y largo plazo sino se toman medidas para remediarlo.

La presente investigación aporta un diseño a bajo costo de un sistema integrado inteligente basado en una aplicación de Internet of Things, integrando una app web, dispositivo embebido y cloud computing. Teniendo una infraestructura como servicios (IaaS) en Amazon Web Services.

De acuerdo a un reporte de la Organización de las Naciones Unidas ([FAO],2013), ya es un hecho que la industria agrícola será más importante que nunca en las próximas décadas. El mundo necesitará producir un 70% más de alimentos para el 2050 que en el 2006 para alimentar a una creciente población en el mundo. Para lograr satisfacer esa demanda, los agricultores, las empresas agrícolas y Start-ups están recurriendo a Internet de las cosas para la recolección y el análisis de datos para lograr una mayor capacidad de producción.

El uso de Internet de las cosas (IoT, Internet of Things) garantiza un impulso el futuro de la agricultura al siguiente nivel. La agricultura inteligente o Smart farming ya se está convirtiendo en algo más común entre los consumidores lejanos, por ello la agricultura que usa tecnologías actuales

se está convirtiendo rápidamente en un estándar gracias a la aplicación de drones, robots y sensores.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Demostrar la efectividad de la implementación de un sistema de Internet de las Cosas en la optimización de la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna, 2018.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar cómo la implementación de un sistema de Internet de las Cosas optimiza el uso de agua en la agricultura.
- b. Evaluar la efectividad de un sistema de Internet de las Cosas en la agricultura.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

La implementación de un sistema de Internet de las Cosas es efectiva para la optimización de la gestión del agua en la agricultura.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. La aplicación de un sistema de Internet de las Cosas asegura mejor gestión del agua.
- b. Un sistema de Internet de las Cosas resulta ser una solución de menor costo que cumple con un estándar de la industria 4.0 y con alta confiabilidad.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Dias Sales(2015); en su proyecto de tesis: “Cloud-based Wireless Sensor and Actuator System for Smart Irrigation”, en Lisboa, Portugal; concluye que, a través del estudio e investigación de la literatura relacionada con los estudios de campo relacionados a Internet de las cosas, Maquina-a-Maquina (Machine to machine) y de las redes inalámbricas de sensores y actuadores, fue posible identificar un ahorro de agua gracias a los continuos desarrollos en los últimos años. Todavía hay un gran problema para abordar con respecto a los datos generados y recopilados. Siendo la computación en la nube (Cloud Computing) un enfoque que le proporcione diferentes recursos. Concluyendo que esta integración podría aplicarse a una gran cantidad de casos de uso, siendo el caso de uso agrícola el que se utilizó.

Sekharm, Manujunatha & Sundeep (2013); en su trabajo de Investigación “Modelo de evapotranspiración usando un Controlador de IA para un Sistema Automatico de Riego”, de la Escuela de Ingenieria de Ciencias de la Computación de CMR Institute of Technology; sostienen que la implementación de sensores, redes inalámbricas y controladores ANN para un sistema automático de riego tienden a obtener un ahorro de energía y agua. Este sistema propuesto se comparó con un sistema existente; se muestra que los dispositivos de hardware de tarifa fija están fallando debido a sus limitaciones. El Sistema propuesto se implementa mejor y es más eficiente que el Sistema existente, el Sistema propuesto cambia su decisión y producción de acuerdo con la condición ecológica. Al utilizar el concepto ANN, obtuvieron resultados precisos al calcular la humedad del suelo requerida a partir de los parámetros de entrada.

Villabos, Orgaz, Testi, & Fereres (2000); en su trabajo de investigación “Medición y modelización de la evapotranspiración de la aceituna (Olea europaea) huertos”; del Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC y departamento de Agronomia de la Universidad de Córdoba; concluyeron que las mediciones de la evaporación por encima y por debajo

de un huerto de olivos y la conductancia aerodinámica permitió la calibración de un modelo de transpiración de olivos. El modelo se combinó con un modelo de evaporación del suelo y se contrastó con un conjunto de datos independientes, lo que indica un rendimiento justo a menos que una fracción sustancial de la superficie del suelo sea mojada por los emisores de riego, lo que el modelo no toma en cuenta. Los coeficientes de los cultivos de olivos en el sur de España cambian durante el año en relación a los cambios de la radiación neta, la temperatura relativa del aire, la velocidad del viento, el déficit de presión de vapor (VPD) y la evaporación de la superficie del suelo. El coeficiente de cultivo promedio es bastante bajo debido a la baja cobertura del suelo y al control mejorado de la conductancia del dosel por las respuestas estomáticas al VPD. Estos resultados indican que las estimaciones de los requerimientos de agua de aceituna no pueden evaluarse con precisión con el método del coeficiente de cultivo, enfoque, como el que se presenta aquí es necesario.

Muñoz, Calero & Marín (2013), en su informe “Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente basado en Sensores y Módulos de Radiofrecuencia para Transmisión y Sistema de Control” de Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral; concluyen que al hacer uso de un sistema de riego inteligente se obtiene un significativo ahorro de los recursos hídricos frente al sistema de riego tradicional, manteniendo el mismo nivel de producción como se demuestra en la sección seis a través del análisis estadístico de los frutos obtenidos. El costo de implementar un sistema de riego inteligente diseñado y ensamblado de forma individual y propia es muchísimo menor que los sistemas de riego que existen actualmente en el mercado.

Lavoia (2016); en su tesis “Medición y modelamiento de la evapotranspiración real del cultivo de clavel en invernadero en La Sabana de Bogotá, usando lisímetros electrónicos de pesada”, del departamento de Ingeniería Civil y Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia; afirma que el modelo matemático de evapotranspiración basado en el método de García y López, Penman-Monteith y tanque evaporímetro presentaron resultados de evapotranspiración de referencia más reales de acuerdo a las variables climatológicas de la finca de Marengo pero que puede variar de

acuerdo a la zona es porque los metodos descritos requieren en muchos casos acceso a las variables climatologicas.

Castro, Chamorro, & Vlteri (2015); en su trabajo de investigación “Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado”, presentado a la revista de Ciencias Agrícolas de Colombia; afirman que un diseño WSN (por sus siglas Wireless Sensor Network) permite capturar los datos de humedad volumétrica en un cultivo de fresas y controlar de forma general o sitio-específica el riego por metodo por goteo en el cultivo. En base al prototipo desarrollado, el cual hizo posible verificar la existencia de un grado de variabilidad espacial de humedad de suelo cultivable. De esta forma, se evidencia la importancia del uso de herramientas tecnológicas para lograr una caracterización de humedad de suelo promedio mucho más precisa, definir bajo criterios técnicos cuánto y cuándo regar en diferentes áreas del cultivo.

Váscones & Chamba (2013); en sus tesis “Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balario” de la Universidad Politecnica Salesiana; sustentan, que su sistema de riego GSM funciona de manera eficiente pero con retardos de 45 segundo, su cobertura se ve afectada de acuerdo al operador movil que esté trabajando. El uso de modulos XBee para la comunicacion inalámbrica presenta perdidas de señal cuando no se encuentran en linea de vista, lo cual disminuye su alcance e eficiencia.

Flores (2015); en su tesis “Software de riego inteligente basado en control difuso para mejorar la administración del consumo de agua en los campos del Valle Chicama” de la Escuela Académico Profesional de Informática de la Universidad Nacional de Trujillo; concluye que, la utilización de un software basado en el control difuso optimizo el uso del agua para el riego haciendo pruebas pre y post test, tambien disminuyo el deterioro del cerco del terreno en relación al riego sin software.

Mayhua, Ludeña, Tamayo, Cuba, Nuñez, Gonzales & Lozada (2016); en su trabajo de investigación “Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos”, presentado a la Revista de Investigación Arequipa; concluyen que con el uso de la implementación de

sensores para determinar la humedad en el suelo y la sectorización del terreno para la apertura y cierre de valvulas para el riego según el nivel de humedad del suelo se consigue un ahorro de hasta 25.62% en el consumo de agua por hectarea. El aumento de producción por hectaria ascendio 4.31%. Donde las prestaciones de este sistema a manera de piloto, se han evaluado en un campo de cultivo ubicado en el distrito de Santa Rita de Sigwas de la provincia de Arequipa, específicamente en el Fundo Santa Gabriela. Los resultados han mostrado una mejora en la productividad y un menor consumo de agua por cada hectárea de cultivo.

Anaya, Peluffo, Rios, Castro, Carvaja & Espinosa (2017); en su trabajo de investigación "Sistema de Riego Basado en la Internet de las Cosas"; presentado en la Jornada Internacional FICA; donde concluyeron que en la agricultura es necesario el desarrollo de herramientas como los sistemas automatizados de riego para el eficiente uso del agua, pues como es evidente en la actualidad donde un país pasa por una época de verano intensa, las pérdidas por la escasez del vital líquido son inmensas en el sector agrícola. Aunque en el mercado se encuentren sistemas autónomos y automatizados, la gran mayoría de ellos son difíciles de acceder debido al elevado costo económico que presentan, por esto se hace necesario el desarrollo de sistemas similares tratando de disminuir sustancialmente el costo para ponerlo a disposición de la sociedad.

Ravazzani, Corbari, Morella, Gionoli & Mancini (2012), en su trabajo de investigación titulado "Modified Hargreaves-Samani Equation for the Assessment of Reference Evapotranspiration in Alpine River Basins"; presentado en la revista "Journal of Irrigation and Drainage Engineering"; sostiene basado en el uso del método de Hargreaves- Samani y FAO-56 PM para estimar la evotranspiración por un periodo de 8 años. La ecuación FAO-56 PM se recomienda como el estándar para calcular  $ET_0$ (evapotranspiración del cultivo de referencia), pero su aplicación está limitada por la disponibilidad de los datos meteorológicos requeridos. En estas circunstancias, la ecuación de HS(Hargreaves-Samani)sobre la base de la temperatura máxima y mínima del aire se considera una buena alternativa, pero a menudo se requiere el ajuste de los coeficientes empíricos a las condiciones climáticas locales, manteniendo a la FAO-56 PM como punto de referencia. La ecuación HS se comparó con la ecuación

FAO-56 PM para pasos diarios de tiempo para 40 estaciones dentro de la cuenca del río Upper Po y 11 estaciones dentro de la cuenca del río Ródano, respectivamente, en los Alpes italianos y suizos. Los resultados muestran una sobreestimación general en la elevación más baja y una subestimación en las estaciones más ventosas en la elevación más alta.

Dukes, Shedd, & Davis (2014); en su trabajo de investigación titulado "Smart Irrigation Controllers: Operation of Evapotranspiration-Based Controllers" de la University of Florida IFAS Extension; concluyen que los controladores evapotranspiración(ET) pueden ser herramientas muy útiles para mejorar la aplicación de agua de riego porque permiten al propietario "configurarlo y olvidarlo". La mayoría de estos controladores de ET calculan los tiempos y ciclos de riego en función de las entradas de da el usuario y las condiciones climáticas. Sin embargo, estos controladores no pueden optimizar un sistema de riego mal diseñado o mal mantenido. Por ellos los autores recomiendan que el sistema de riego se inspeccione regularmente y que se haga un mantenimiento preventivo.

También comentan que los diversos controladores ET disponibles comercialmente tienen diferentes términos de programación, entradas y procedimientos; No existe un modelo estándar. Los fabricantes diseñan los controladores para que los instalen contratistas expertos que entiendan las distintas entradas. La programación del controlador para cada paisaje único es crítico para lograr reducir el uso de agua.

Remédios, Arsenio & Sales (2015); en su trabajo de investigación "Wireless Sensor and Actuator System for Smart Irrigation on the Cloud", presentado en el II Foro Internacional de Internet de las Cosas de la IEEE, realizado en la Ciudad de Milan, Italia; concluyen que el desarrollo de un sistema de riego inteligente puede beneficiarse enormemente del conocimiento de la dinámica del suelo y del agua. En su estudio exhaustivo de dichos temas permitió a los autores tener una visión más clara de las necesidades de agua en el cultivo .

La información recolectada fue utilizada para el desarrollo de la solución propuesta. En ello se sumo el monitoreo de la humedad del suelo, para evaluar las necesidades de agua en el cultivo para su desarrollo adecuado y saludable, también evaluaron la posibilidad de la optimización

del uso de los recursos naturales. En este contexto introdujeron la integración de parámetros para pronosticar el tiempo, así poder optimizar el uso de los recursos naturales. Las pruebas experimentales en una granja permitieron la identificación de algunas limitaciones, principalmente relacionadas con la energía.

El esquema actual, aunque es significativamente mejor que los prototipos iniciales basados en hardware Arduino, no puede durar tanto como fuera deseable. Además, existe la necesidad de tener un mayor conocimiento de los distintos tipos de suelo, los distintos tipos de cultivos y los métodos de riego aplicados. Estos factores influyen en la optimización del ahorro de agua. La disponibilidad de una gran cantidad de datos permite la creación de servicios inteligentes con un potencial muy alto, como la correlación de datos entre diferentes cultivos y/o campos, la estimación de diferentes enfermedades en el cultivo mediante técnicas de aprendizaje automático (machine learning) o determinar que cultivo es apropiado según las condiciones del suelo.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Internet de las Cosas**

Hoy en día las industrias y las sociedades se han ido adaptando a las diferentes avances tecnológicos y científicos. En la era 3.0 en las industrias se aplica y se sigue aplicando sistemas de automatización y electrónica que optimizan los procesos, disminuyen recursos y ofrecen calidad en un tiempo menor. Ahora las industrias del todo el mundo requieren un análisis de datos a tiempo real, dispositivos que les permita procesar información de diferentes procesos, implementar técnicas y modelos que les permita optimizar aún más sus procesos de manera automatizada que dan lugar a la industria 4.0, por ello es vital que las industrias se adapten a los cambios para seguir su permanencia en el tiempo. (Basco, Beliz, Coatz, & Gamelo, 2018).

La industria 4.0 trae consigo Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés Internet of Things) en términos simples se trata conectar cosas a Internet y usar esa conexión para proporcionar algún tipo de monitoreo remoto o control de esas cosas. Esta definición de IoT es limitada y solo

hace referencia a una parte de la evolución de IoT. Es básicamente un cambio de marca del mercado actual de Máquina a Máquina (M2M) de hoy.

Así, en la década de los 90, la conectividad a Internet comenzó a aumentar en diferentes mercados, pero su uso se vio limitado debido al bajo rendimiento de la interconexión de la red. En el siglo XXI, la conectividad a Internet se convirtió en la norma para muchas aplicaciones y hoy forma parte de muchos productos empresariales, industriales y de consumo masivo proporcionando acceso a la información. Sin embargo, estos dispositivos son principalmente cosas conectados en Internet que requieren una mayor interacción humana y monitoreo a través de aplicaciones e interfaces. La idea principal de IoT está empezando a hacerse realidad: cuando la tecnología opera detrás de la escena, responde dinámicamente a cómo queremos que "las cosas" actúen, sin interacción de las personas.

Hasta el momento, el mundo cuenta con cerca de 5 mil millones de cosas "inteligentes" conectadas a internet. Las estadísticas dicen que habrá 50 mil millones de dispositivos conectados para 2020 y viviremos en una red de trillones de nodos.

#### **2.2.1.1. Internet de las cosas del futuro**

Hoy en día estamos en una era donde si voy a un hotel donde tengo una reservación sabe a qué hora aproximada es mi llegada porque he permitido que Google y/o Apple rastreen mi ubicación. También sabe mi temperatura corporal y que estoy sudoroso de mi viaje debido a los sensores de temperatura y humedad que forman parte de mi reloj inteligente.

A mi llegada, el portero del hotel me espera. Una vez que me encuentra cerca del lobby del hotel, hay una aplicación para abrir la puerta desde mi teléfono. Cuando llego a la habitación, la temperatura de la habitación se ajustó según la lectura de los sensores de reloj inteligente. El nivel de luminosidad, la música y se ajusta mis requisitos. Como estoy caliente y sudoroso, la habitación prepara la tina con una temperatura adecuada que probablemente tomaré después de entrar a la habitación. Una vez sea de noche, la habitación detecta que las luces se apagan,

cambia la configuración de la temperatura según mis preferencias de sueño.

En este ejemplo, cada habitación en esta cadena de hoteles tiene múltiples sensores y actuadores. Estoy usando varios sensores y actuadores, como una vibración del reloj para alertas. No estoy interactuando constantemente con la pantalla táctil de mi teléfono para hacer que estas cosas. Así, habrá millones de personas haciendo esto todos los días. Cuando llegue ese tiempo, los humanos estaremos viviendo en los datos.

Esta es la visión de IoT, que sucederá en los próximos años. La escala requerida solo se logrará mediante la creación de un protocolo en común, un esquema de mensajería simple que todos en el planeta estén de acuerdo. Tendrá que ser digitalmente orgánico, imitando la naturaleza.

Hoy en día, los protocolos de tecnología y las estructuras de datos están limitados por cómo fueron diseñados, así como por la seguridad, la extensibilidad y mucho más. Los dispositivos tendrán que ser más fáciles de usar, aunque la complejidad de los dispositivos aumentará. La línea entre analógico y digital se difuminará. Donde cada persona podrá "crear" su propio entorno de vida, a pesar de que básicamente no saben nada sobre la tecnología subyacente.

#### **2.2.1.2. Internet de las cosas de hoy**

Muchas empresas tecnológicas han estado conectando cosas a Internet antes de que lo llamáramos Internet. Los fabricantes actuales de M2M han estado integrando sus sistemas a Internet en el seguimiento de activos de alto valor, sistemas de alarma, seguridad, gestión de flotas, procesos industriales y similares durante más de 15 años. Estos sistemas M2M son difíciles de construir, aunque algunos se basan en protocolos estándar de la industria. Sin embargo, cada vez es más fácil integrar los sistemas M2M a medida que son más potentes. (Kranz, 2017).

Los procesadores están incorporados en los nodos finales o elementos finales, como los sensores. Y como estos procesadores son compatibles con sistemas operativos (OS, por sus siglas en inglés

Operation System) y lenguajes de alto nivel. Estos sistemas suelen estar vinculados a capas de servicios de alto nivel y son administrados por un centro de control de la red (NOC, por sus siglas en inglés Network Operation Center).

Los consumidores finales ya tienen objetos conectados a internet como termostatos, medidores de energía, sistemas de control de iluminación, sistemas de transmisión y control de música como Siri, sistemas de piscina temperadas y sistemas de irrigación, y hay más por venir. La gran mayoría de estos sistemas tienen cierta conectividad a través de un sitio web o una aplicación móvil, de modo que un usuario puede administrarlos a través de un navegador web o una aplicación de teléfono inteligente, que actúa como un NOC personal.

### **2.2.1.3. Internet de las Cosas en la Agricultura**

Hongal et al. (2017) afirman que Internet de las cosas (IoT) desempeña un papel crucial en la agricultura inteligente. La agricultura inteligente es un concepto emergente, porque los sensores de IoT son capaces de proporcionar información sobre sus campos agrícolas IoT y la agricultura inteligente utilizando la automatización.

El uso de IoT puede proveer un aumento en la producción a bajo costo al monitorear la eficiencia del suelo, la temperatura y la humedad, el monitoreo de la lluvia, medir eficiencia de los fertilizantes, monitorear la capacidad de almacenamiento de los tanques de agua y la detección de robos en áreas agrícolas. La combinación de métodos tradicionales con las últimas tecnologías como Internet de las cosas y una red de sensores inalámbrica (Wireless Network Sensor) puede llevar a la modernización agrícola. Una red de sensores inalámbricos puede recopilar a los datos de diferentes tipos de sensores y los envía al servidor principal mediante un protocolo en específico.

Nikesh Gondchawar (2015) propuso un trabajo sobre la agricultura inteligente basada en IoT. El objetivo de su trabajo fue hacer que la agricultura sea inteligente utilizando la automatización y las tecnologías sobre Internet de las Cosas. Por ello desarrollo un robot controlado a distancia basado en GPS, el cual realizaba las operaciones como

desherbar, rociar, detectar la humedad, etc. También su trabajo incluye irrigación inteligente con control inteligente y toma de decisiones inteligente basada en datos de campo para realizar una gestión inteligente de almacenes. Todas las operaciones fueron controladas por un dispositivo inteligente y se realizaron mediante la interconexión de sensores a través módulos ZigBee, cámaras y actuadores con un controlador Raspberry Pi. En su proyecto logro conectar los sensores y microcontroladores exitosamente con tres Nodos que utilizan un Raspberry Pi y la comunicación inalámbrica.

Mat, Rawidean, Nizar & Mat (2018) sostienen que con la agricultura inteligente se puede construir campos que sean monitoreados con ayuda de sensores así se forma una red inalámbrica para lograr un sistema de irrigación inteligente. En su caso lograron un sistema baso en solo un sensor de humedad incrementar el rendimiento del agua en el riego. Tal como se muestra la siguiente tabla.

*Tabla 1. Uso de un fertilizador con agua*

<b>Tipo de riego</b>	<b>Riego por día</b>	<b>Fertilizando agua(litros)</b>	<b>Total consumido(litros)</b>
<b>Programado por horarios</b>	5	500	2500
<b>Riego Automático</b>	2	500	1000

*Fuente: Mat, Rawidean, Nizar, & Mat (2018). Agricultura inteligente usando Internet de las Cosas, conferencia en Sistemas Abiertos, IEEE*

#### **2.2.1.4. Requisitos fundamentales de Internet de las Cosas:**

- a. **Conectividad:** Se necesita un estándar de conectividad que "gane" sobre los demás. Debido a que habrá una gran cantidad de estándares cableados e inalámbricos, así como aplicaciones propietarias utilizadas para conectar las cosas a internet. Es por ello que se necesita lograr que los estándares de conectividad se comuniquen entre sí como una única moneda de datos mundial.
- b. **Energía:** Más cosas dentro de la IoT usarán baterías para ser más portátiles y autosuficientes. Los dispositivos alimentados necesitarán

ser más eficientes energéticamente. En este desafío es necesario facilitar la administración de energía a estos dispositivos y equipos. Una de ellas es la carga inalámbrica incorporará conectividad con la gestión de carga.

- c. **Seguridad:** Con la cantidad de datos que se envían dentro de Internet de las Cosas, la seguridad es un requisito indispensable. Primero se necesita la seguridad de hardware incorporada y el uso de los protocolos de seguridad de conectividad cliente-servidor existentes son esenciales para asegurar Internet de las Cosas ante posibles ataques informáticos. Otro reto es educar a los consumidores finales para que utilicen la seguridad que está integrada en sus dispositivos.
- d. **Complejidad:** Las empresas tecnológicas buscan agregar conectividad a sus dispositivos y equipos que nunca se han conectado antes para formar parte de IoT. Entonces estos dispositivos deben considerar que la facilidad de diseño y desarrollo forma parte esencial de conectar más cosas a internet, especialmente cuando la programación típica de RF (radio frecuencia) es compleja. Además, el consumidor final debe poder configurar y utilizar sus dispositivos sin un requisito de formación técnica.
- e. **Rápida evolución:** IoT está cambiando y evolucionando constantemente. Cada día se agregan más dispositivos y la industria aún está en su fase inicial. El desafío que enfrenta la industria es lo desconocido. Dado esto, debe haber flexibilidad en todas las facetas del desarrollo. Los procesadores y microcontroladores que van desde 16–1500 MHz para abordar el espectro completo de aplicaciones desde un microcontrolador (MCU) en un pequeño nodo de sensor inalámbrico de energía recolectada hasta procesadores multinúcleo de alto rendimiento para infraestructura de IoT. Se necesita una amplia variedad de tecnologías de conectividad por cable e inalámbrica para satisfacer las diversas necesidades del mercado. Por último, se requiere una amplia selección de sensores, tecnologías de señal mixta y administración de energía para proporcionar la interfaz de usuario a la IoT y diseños amigables con la energía.

### 2.2.2. Gestión del agua en la agricultura

Un estudio patrocinado por las Naciones Unidas y el Banco Mundial indica que la agricultura deberá proporcionar hasta el 70% del aumento para cubrir las necesidades alimentarias del mundo en 2025.

Postel (1999) indica que los niveles de producción de alimentos necesarios en 2025 podrían requerir hasta 2,000 kilómetros cúbicos (1,600 millones de acres-pies) de agua adicional para riego del cultivo.

La gestión del agua y los rendimientos de los cultivos pueden mejorarse mediante el uso incrementado de métodos confiables para estimar la evapotranspiración de los cultivos(ET), riego de precisión avanzado en conjunto con los métodos de precesión como riego por goteo o expansión.

Cabe mencionar que una buena gestión del agua en la agricultura también incluye la gestión del agua utilizada en la producción, producción de la pesca continental y producción ganadera, y la mejora de la gestión en estas áreas de producción es la respuesta a la seguridad alimentaria en el mundo.

#### 2.2.2.1. Evapotranspiración

*“Más de una veintena de métodos han sido propuestos y utilizados en los últimos 50 años. Muchos organismos internacionales están intentando desarrollar un consenso con respecto a las mejores y más apropiados métodos para usar en el cálculo de la evapotranspiración de del cultivo de referencia” (Allen, 1994).*

La crítica sobre el uso de los métodos empíricos por H. L. Penman y otros alentó la búsqueda de un método sólido y práctico basado en datos climáticos fácilmente disponibles para calcular la evapotranspiración potencial o la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>). Uno de estos esfuerzos finalmente culminó con el método de 1985 Hargreaves ET<sub>o</sub>.

“El manejo eficiente del riego requiere una buena cuantificación de la evapotranspiración (...). Una buena gestión del riego requiere una

cuantificación precisa de la evapotranspiración del olivo. El enfoque más común para calcular la evapotranspiración (ET) ha sido el coeficiente de referencia ET (ET<sub>o</sub>)". (Villabos, Orgaz, Testi, & Fereres, 2000).

“La Evapotranspiración es la combinación de dos procesos naturales donde el agua se pierde a través de la superficie del suelo (evaporación) y por la transpiración del cultivo. La unidad de medida de la evapotranspiración es milímetro por unidad de tiempo, que puede ser hora, día, mes o año.” (Anaya, y otros, 2017).

Para hay que entender las definiciones propuestas por Anaya, Peluffo, Rios, Castro, Carvajal & Espinosa (2017), existen dos procesos:

- a. Evaporación: Es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). La radiación solar, la humedad atmosférica, la temperatura ambiente y la velocidad del viento son parámetros climatológicos que influyen en el proceso de evapotranspiración. Para cambiar el estado de las moléculas de agua se requiere energía, que es proporcionada por la radiación solar directa y la temperatura ambiente del aire. La fuerza que retira el vapor de agua es dada por la diferencia entre el vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmosfera circundante. A medida que se va ocurriendo el proceso de evaporación, el aire del ambiente se satura y el proceso se vuelve lento hasta que el viento retira el vapor que hay alrededor de la hoja
- b. Transpiración: La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Este proceso se lleva a cabo a través de las estomas de las hojas de las plantas.

También, al igual que en la evaporación, la radiación solar, la temperatura ambiente, la humedad relativa y velocidad del viento contribuyen en este proceso natural.

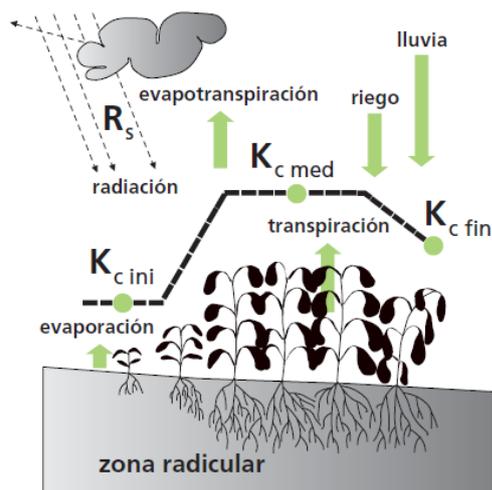


Figura 3. Proceso de evapotranspiración del cultivo

Fuente: Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO

La ecuación de Hargreaves de 1985 y su comparación con la evapotranspiración (ET) pronosticada por el método Penman-Monteith de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se describen para proporcionar antecedentes e información útil para seleccionar una ecuación ET de referencia apropiada bajo diversas situaciones de datos. En California y otras regiones áridas y semiáridas se dieron los primeros esfuerzos en los cálculos de requisitos de agua de riego para obtener ecuaciones ET simplificadas. Varios esfuerzos iniciales se dirigieron a mejorar la utilidad de la evaporación de la bandeja para estimar los requerimientos del agua de riego. (Sekharm, Manujunatha, & Sundeep, 2013)

$$ET_o = \alpha \cdot (T + 17.78)(Tmax - Tmin)^{0.5} \cdot (Ra * Hm) \quad (1)$$

Donde:

$Tmax$  = Temperatura maxima

$Tmin$  = Temeperatura minima

$Ra$  = radiacion solar

$\alpha$  = calibracion constante es 0.0023 bajo estudio del area

$Hm$  = Humedad del suelo

La similitud con los climas de otros países permitió que los desarrollos en California se extendieran al extranjero. Así, surgió la crítica sobre métodos empíricos por H. L. Penman y otros, que alentó la búsqueda de un método práctico y sólido basado en datos climáticos fácilmente disponibles para calcular la evapotranspiración potencial o la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>).

Uno de estos esfuerzos finalmente finalizó con el método de 1985 de Hargreaves ET<sub>o</sub>, el cual solo requiere datos de temperatura medida, es simple y parece tener menos impacto que los métodos de tipo Penman cuando se recopilan datos de sitios áridos o semiáridos, no irrigados.

#### **2.2.2.2. Eficiencia de riego**

El término eficiencia de riego expresa la utilidad y rendimiento de un sistema de riego completo o componentes del sistema. La eficiencia de riego se define como la relación entre la cantidad de agua utilizada para cumplir con el requisito de uso de consumo del cultivo más la necesaria para mantener un balance de sal favorable en la zona de la raíz del cultivo al volumen total de agua desviada, almacenada o bombeada para riego. Por lo tanto, el agua aplicada por el sistema de riego y que no está disponible para ser absorbida por las raíces del cultivo se desperdicia y disminuye su eficiencia del riego del cultivo. (Bos & Chambouleyron, 1998).

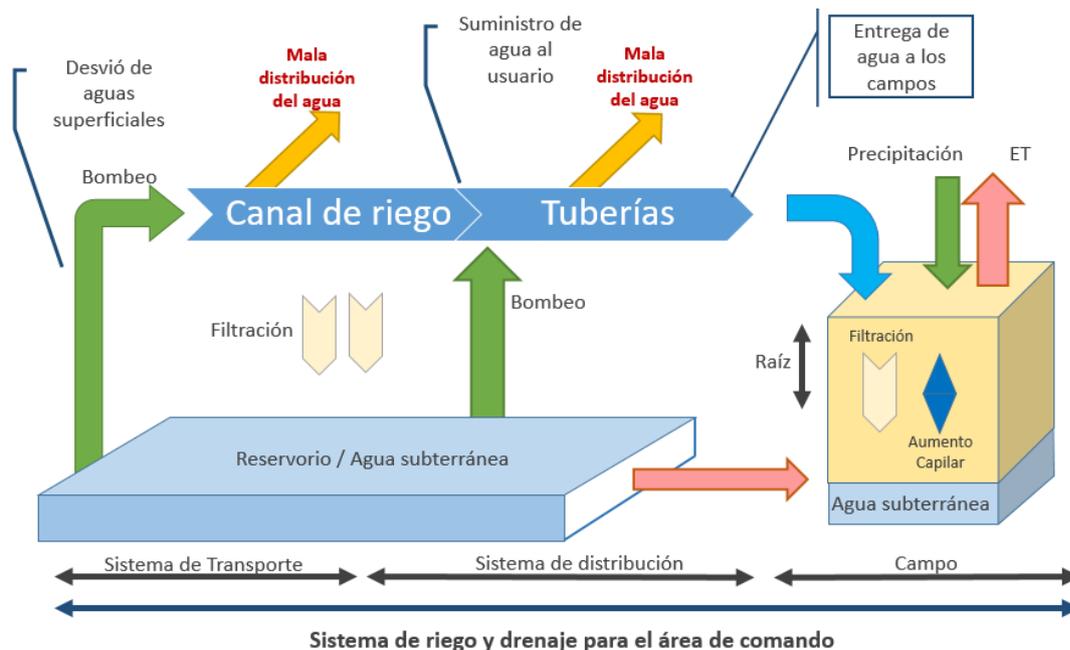


Figura 4. Esquema del flujo en el sistema de drenaje de riego:

Fuente: (Bos, Kselik, Allen, & Molden, 2009) *Water Requirement for Irrigation and Environment*, Bos

Según Bos, Kselik, Allen & Molden (2009) describen los componentes de la pérdida de agua desde la fuente hasta el punto de aplicación como se observa en la figura 4. Además, también pueden ocurrir pérdidas durante el almacenamiento en el caso de estanques, tanques o depósitos. Las causas principales de la reducción de la eficiencia del riego incluyen pérdidas de almacenamiento, pérdidas de transporte y pérdidas de aplicación en el campo. Por ello es necesario satisfacer las crecientes demandas de agua para alimentos, medio ambiente, urbanismo e industria, es necesario mejorar la eficiencia del riego en todos los niveles.

Por ejemplo, una de ellas es determinar la eficiencia del reservorio, para ello se determina bajo la siguiente formula:

$$E_r = 100 \times \left(1 - \frac{V_e + V_s}{V_i}\right) = 100 \left(\frac{V_o + \Delta S}{V_i}\right) \quad (2)$$

Donde:

$V_e$  = Volumen de evaporación del reservorio

$V_s$  = Volumen de filtración del reservorio

$V_i$  = Entrada de embalse

$V_o$ = Volumen de salida del reservorio

$\Delta s$ = Cambio en el depósito de almacenamiento

Según Majumdar (2010) debemos determinar la eficiencia del transporte del agua, que se utiliza para medir la eficiencia de los sistemas de transporte de agua asociados con la red de canales, cursos de agua y canales de campo. Se define como la relación entre el agua que llega a una granja o campo y que se desvía de la fuente de agua de riego. Matemáticamente se representa de la siguiente manera.

$$E_c = 100 \left( \frac{V_f}{V_d} \right) \quad (3)$$

Donde:

$E_c$  = Eficiencia del transporte (%)

$V_f$ =El volumen de agua que llega a la granja o al campo( $m^3$ )

$V_d$ =El volumen del agua desviada de la fuente ( $m^3$ )

También se debe mejorar que la eficiencia de la aplicación se relaciona con el almacenamiento real de agua en la zona de la raíz para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en relación con el agua aplicada al campo. Puede definirse para riego individual o partes de riegos o conjuntos de riego. La eficiencia de la aplicación incluye cualquier pérdida de aplicación por evaporación o filtración de canales o surcos de agua superficial, cualquier fuga de rociadores o tuberías de goteo, percolación debajo de la zona de la raíz, deriva de los rociadores, evaporación de gotas en el aire o escorrentía del campo. En el caso del riego de superficie, las pérdidas por evaporación son generalmente pequeñas, pero la escorrentía y la percolación profunda son sustanciales. La eficiencia de la aplicación se define como:

$$E_a = 100 \left( \frac{W_f}{W_d} \right) \quad (4)$$

Donde:

$E_a$ = Eficiencia de la aplicación (%)

$V_s$ =El volumen de agua almacenada en la zona de la raíz( $m^3$ )

$V_f$ = Agua entregada al campo o granja( $m^3$ )

Para determinar la eficiencia del agua ya se estudiaron diferentes sistemas de irrigación como lo que se muestra en la siguiente tabla.

*Tabla 2: Valores típicos de eficiencia en diferentes sistemas de riego*

Tipo de sistemas	Rango de eficiencia (%)
<b>Superficial</b>	
<b>Riego tradicional o tendido</b>	10 - 30
<b>Riego en Curvas de Nivel</b>	30 - 60
<b>Riego por bordes</b>	40 - 80
<b>Riego por surcos</b>	40 - 85
<b>Presurizado</b>	
<b>Riego por aspersion</b>	50 - 90
<b>Riego por microjet</b>	60 - 95
<b>Riego por goteo</b>	65 - 95

*Fuente: Núñez, Alberto (2015), Manual del Cálculo de eficiencia para Sistemas de Riego, Dirección general de Infraestructura Agraria y Riego*

#### **a. Eficiencia de irrigación del proyecto**

Las dos últimas formula sirven para determinar la eficiencia del proyecto de irrigación el cual está determinada por la siguiente formula

$$E_p = 100 \times \left( \frac{E_a}{100} \times \frac{E_c}{100} \right) \quad (5)$$

Donde:

Ep= Eficiencia de irrigación del proyecto (%)

Ec= Eficiencia del transporte (%)

Ea= Eficiencia de la aplicación (%)

### b. Eficiencia de almacenamiento

La eficiencia del almacenamiento de agua evalúa el almacenamiento de agua en la zona de la raíz después del riego en relación con la necesidad de agua antes del riego.

$$E_s = 100 \times \left( \frac{V_s}{V_{RZ}} \right) \quad (6)$$

Donde:

*E<sub>s</sub>* = Eficiencia de almacenamiento (%)

*V<sub>RZ</sub>* = Capacidad de almacenamiento de la raíz (m<sup>3</sup>)

La profundidad de la zona de raíz y la capacidad de retención de agua de la zona de raíz determinan *V<sub>RZ</sub>*. La eficiencia del almacenamiento tiene poca utilidad para el riego por aspersión o micro riego porque estos métodos de riego rara vez llenan completamente la zona de la raíz.

### c. Eficiencia de distribución del agua

Es la relación entre la media de las desviaciones numéricas de la profundidad promedio del agua almacenada durante el riego (*Y*) y la profundidad promedio almacenada durante el riego (*d*). Se expresa matemáticamente como:

$$E_d = \left( 1 - \frac{Y}{d} \right) \times 100 \quad (7)$$

Donde:

*Y* = Desviación numérica promedio en la profundidad del agua almacenada desde la profundidad promedio almacenada durante el riego

*d* = Profundidad media de agua almacenada durante el riego.

Es una medida de distribución de agua dentro del campo. Una baja eficiencia de distribución significa falta de uniformidad en la distribución del agua de riego. Esto puede deberse a la nivelación irregular del terreno.

## **2.3. Definiciones de términos**

### **2.3.1. Máquina a máquina (M2M)**

La comunicación de máquina a máquina (M2M, machine to machine en inglés) es la manera de cómo se transmiten datos que permite que una máquina se comunique con otras máquinas de manera cableada o inalámbrica, sin o con un mínimo de intervención humana. M2M utiliza dispositivos para adquirir datos por medio de un sensor o medidor, que se transmiten a través de la red para ser recopilados y procesados.

Principalmente M2M está enfocada para trabajar de manera inalámbrica. Sin embargo, en algunas ocasiones, los sistemas cableados son más apropiados. Por ejemplo, en un edificio donde la propagación de las ondas de radio de un sistema inalámbrico es limitada. Las áreas de aplicación más notables de M2M son: transporte, seguridad, salud electrónica, minería y petróleo, servicios públicos y gestión de instalaciones. (Misic & Misic, 2014)

El principal desafío para este concepto se basa en la estandarización de la comunicación M2M, que se debe al hecho de que las redes inalámbricas actuales están diseñadas para una comunicación de persona a persona (H2H). El desarrollo de estándares es esencial para la comunicación M2M para seguir adelante. Algunos grupos estándar de ingeniería como IEEE, 3GPP y ETSI, están en la búsqueda de manera activa para dar solución a este problema debido a las demandas del mercado. (Kim, Soong, Tseng, & Xiang, 2011)

### **2.3.2. Computación en la nube (Cloud computing)**

Vaquero, Rodero, Caceres, & Lindner (2009) sostienen Cloud Computing es un concepto emergente, falta una definición completa. En su informe se hizo él estudio de las definiciones de Cloud Computing proporcionadas por 20 expertos. Después de extraer y resumir diferentes definiciones, se propuso una única definición integral:

*“Las nubes son un gran grupo de recursos virtualizados fácilmente utilizables y accesibles (como hardware, plataformas de desarrollo y/o servicios). Estos recursos se pueden reconfigurar dinámicamente para*

*ajustarse a una carga variable (escala), lo que permite también una utilización óptima de los recursos. Este conjunto de recursos generalmente se explota mediante un modelo de pago por uso en el que el proveedor de infraestructura ofrece garantías mediante SLA personalizados".*

### **2.3.3. Microcontrolador**

Un microcontrolador (MCU, por sus siglas en inglés microcontroller unit) es una pequeña computadora en un solo chip de circuito integrado de metal-óxido-semiconductor (MOS). En la terminología moderna, es similar pero menos sofisticado que un System On a Chip (SoC); un SoC puede incluir un microcontrolador como uno de sus componentes. Un microcontrolador contiene una o más CPU (núcleos de procesador) junto con memoria y periféricos de entrada / salida programable.

Los microcontroladores se utilizan en productos y dispositivos para ser controlados automáticamente, como sistemas de control de motores de automóviles, dispositivos médicos implantables, controles remotos, máquinas de oficina, electrodomésticos, herramientas eléctricas, juguetes y otros sistemas integrados. Al reducir el tamaño y el costo en comparación con un diseño que utiliza un microprocesador, una memoria y terminales de entrada/salida separados, los microcontroladores hacen que sea posible controlar digitalmente aún más dispositivos y procesos de manera económica. (Shirriff, 2016)

### **2.3.4. Sensor**

En la definición más amplia, un sensor es un dispositivo, módulo, máquina o subsistema cuyo propósito es detectar eventos o cambios en su entorno físico y enviar la información a otros dispositivos electrónicos, con frecuencia a una computadora. Un sensor siempre se usa con otros dispositivos electrónicos, como un transmisor y un transductor.

Los sensores son usados en objetos cotidianos, como los botones del elevador sensibles al tacto (sensor táctil) y las lámparas que se atenúan o iluminan al tocar la base, además de innumerables aplicaciones de las que muchos de nosotros no lo percibimos.

Según Bennett (1993) con los avances en la industria tecnología y plataformas de microcontroladores fáciles de usar, los usos de los sensores se han expandido más allá de los campos tradicionales de medición de temperatura, presión o flujo.

### **2.3.5. Actuador**

Un actuador es un componente de una máquina que se encarga de mover y controlar un mecanismo o sistema, por ejemplo, la apertura de una válvula. En términos simples, es un "motor", también llamado elemento final de control.

Un actuador requiere una señal de control y una fuente de energía. La señal de control es de energía relativamente baja y puede ser voltaje o corriente eléctrica. Su principal fuente de energía puede ser una corriente eléctrica, presión neumática o presión fluido hidráulico. Cuando recibe una señal de control, un actuador responde convirtiendo la energía de la señal en movimiento mecánico.

Un actuador es el mecanismo por el cual un sistema de control actúa sobre un entorno. El sistema de control puede ser simple (un electrónico fijo o sistema mecánico), basado en software (por ejemplo, un sistema de control de robot, controlador de impresora), un humano o cualquier otra entrada. (Solbes & Raul, 2013)

### **2.3.6. Energía sostenible**

Mulder define como energía sostenible al aprovechamiento de la energía de manera eficiente. Donde utilice fuentes de energía, tales como molinos, pantallas de energía solar, en el proceso de producción.

Menéndez (2003) describe como energía sostenible al modelo único para preservar y mantener la naturaleza, resultado ser el camino para el crecimiento futuro viable para conjugar protección, desarrollo y conservación del medio ambiente.

### **2.3.7. Control de procesos**

Miranda (2017) describe que el control de procesos mejora la calidad del producto, minimiza el error humano, reduce los costos operacionales y disminuye las emisiones de la planta.

También define que el proceso se refiere a una planta o porción de ella donde las materias primas o productos intermedios sufren una transformación física. El control de procesos se refiere a los métodos que se usan para monitorear y regular las condiciones físicas en un proceso durante la producción de un producto.

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que soluciona problemas prácticos, buscando nuevos conocimientos para poder ser aplicados en el campo de la ingeniería. Esta investigación tiene como fin demostrar la efectividad de la aplicación de un sistema de internet de las cosas como método para aumentar la efectividad del uso agua en la irrigación.

### 3.2. Población y/o muestra de estudio

#### 3.2.1. Población

Catorce parcelas del asentamiento 4. Utilizan el pozo de agua 106 del sector agrario de la Yarada- Los Palos.

#### 3.2.2. Muestra

Se cuenta con una parcela con un área de cultivo de Olivo de aproximadamente 3535 m<sup>2</sup>, con un reservorio de 600000 litros de agua aproximadamente.

### 3.3. Operacionalización de variables

#### 3.3.1. Definición de las variables:

##### a. Variable independiente: Sistema de Internet de las Cosas

Conjunto de elementos relaciones entre sí para realizar uno o varios procesos en específico, procedimientos, reglas, datos e información asociada a estas que funcionan específicamente en diferentes dispositivos.

En referencia a lo mencionado anteriormente entonces definiremos que un sistema de Internet of Things que serán instrucciones lógicas capaces de interactuar con dispositivos, sensores, actuadores desde internet y en tiempo real,

procedimientos relacionados a la seguridad, documentación, datos e información asociados al control y monitoreo de metadatos obtenido por sensores.

*Tabla 3. Variable independiente: Sistema de Internet de las Cosas*

<b>Variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Factor</b>	<b>Indicador</b>	<b>Reactivo</b>	<b>Tipo de Pregunta</b>
<b>Sistema de Internet de las Cosas</b>	Conjunto de elementos relaciones entre sí para realizar uno o varios procesos en específico, procedimientos, reglas, datos e información asociada a estas que funcionan específicamente en diferentes dispositivos.	Uso	Uso Actual	¿Se hace uso de Sistemas con internet de las cosas en la agricultura en la Región Tacna?	Dicotómica
	En referencia a lo mencionado anteriormente entonces definiremos que un sistema de Internet of Things que serán instrucciones lógicas capaces de interactuar con dispositivos, sensores, actuadores desde internet y en tiempo real. Los cuales	Conocimiento	Conocimiento	¿Cuál es el conocimiento actual que se posee sobre sistemas de Internet de las Cosas	Elección
		Utilidad	Utilidad	Los sistemas de Internet de Cosas es manera como conectamos objetos a internet con la finalidad de obtener información importante para optimizar diferentes procesos y mejorar la calidad de vida de las	Dicotómica

proporcionan información útil que optimizar procesos, rutinas, reduciendo costos y ofreciendo una mejor forma de vida. (Khan & Yuce, 2019)	personas. Conociendo esto, ¿Cree que es útil su integración de Internet de las Cosas en nuestras vidas?
--	---

Fuente: *Elaboración propia*

#### **b. Variable dependiente: optimizar la gestión del agua en la agricultura**

Se entiende como optimizar al proceso de modificar un sistema para mejorar su eficiencia y el uso de los recursos disponibles. Entonces podemos decir que usaremos tecnologías para optimizar el proceso del riego de los cultivos en la agricultura. Llegando a automatizar el proceso con un dispositivo inteligente, monitorear el cultivo desde una aplicación web y centralizar diferentes dispositivos interconectados entre sí a través un servidor remoto alojado en la nube

*Tabla 4. Variable dependiente: optimizar la gestión del agua en la agricultura*

<b>Variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Factor</b>	<b>Indicador</b>	<b>Reactivo</b>	<b>Tipo de Pregunta</b>
<b>optimizar la gestión del agua en la agricultura</b>	Se entiende como optimizar al proceso de modificar un sistema para mejorar su eficiencia y el uso de los recursos disponibles. Entonces podemos decir	Nivel	El nivel de la gestión de agua en la agricultura de la Región Tacna	¿Cómo consideraría el nivel de la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna?	Elección múltiple
		Esfuerzo	Esfuerzo	¿Cuál es el esfuerzo que se realiza en	Elección múltiple

que usaremos tecnologías para optimizar el proceso del regadío de los cultivos en la agricultura.			la actualidad para mejorar la gestión agua en la agricultura de la región Tacna?	
Llegando a automatizar el proceso con un dispositivo inteligente, monitorear el cultivo desde una aplicación web y centralizar diferentes dispositivos interconectados entre sí a través un servidor remoto alojado en la nube.	Gasto	Gasto	¿Cómo consideras los gastos realizados en gestión del agua en la agricultura?	Elección Múltiple

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas**

Aplicación del sistema de Internet de las Cosas y el sistema de riego por goteo controlado por temporizador para su comparación respectiva.

#### **3.4.2. Instrumentos**

Uso del Sistema de Internet de las Cosas denominado Damla para evaluar la efectividad del riego basándonos en los datos capturados por:

- Sensor de Radiación UV
- Sensor de humedad de suelo
- Sensor de humedad del aire
- Sensor de temperatura ambiente

Los datos son procesados para determinar el tiempo efectivo de riego en el cultivo.

### **3.5. Procesamiento y análisis de datos**

- La recolección de datos mediante encuestas es solo para saber si existe la necesidad de un sistema de internet de las cosas para optimizar el agua
- Los datos recolectamos por el dispositivo desarrollado, Damla, nos ayuda a saber los intervalos de tiempo de riego del cultivo.
- La presentación de la información a través de tablas luego de procesamiento de la misma, por lo tanto, se hará una presentación tabular para la discusión de los procedimientos lógicos de la deducción e inducción al comparar los resultados con el sistema Damla y el sistema de riego tradicional por controlador de tiempo de riego.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Variable independiente: Sistema de Internet de las cosas

#### 4.1.1. Uso

Este indicador tiene asociada una pregunta en la encuesta realizada para determinar la necesidad de un sistema de internet de las cosas

Pregunta 1: ¿Se hace uso de Sistemas con internet de las cosas en la agricultura en la Región Tacna?,

Tabla 5. Pregunta 1

	Frecuencia	%	% Valido	% Acumulado
<b>SI</b>	0	0.00	0.00	0.00
<b>NO</b>	30	100.00	100.00	100.00
<b>Total</b>	30	100.00	100.00	

Fuente: Elaboración propia

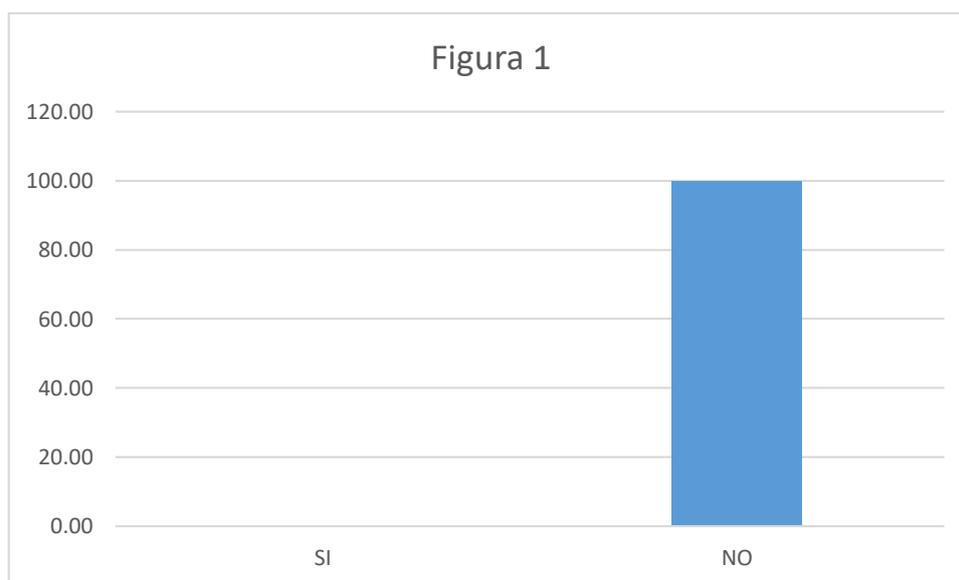


Figura 5. Pregunta 1

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Según se observa en la tabla, con respecto al funcionamiento del proceso actual de irrigación en la zona de la Yarada- Los Palos,

asentamiento 4, los lugareños, en una muestra de 30 personas, afirman que no se hace uso de Sistemas de Internet de las Cosas

#### 4.1.2. Conocimiento

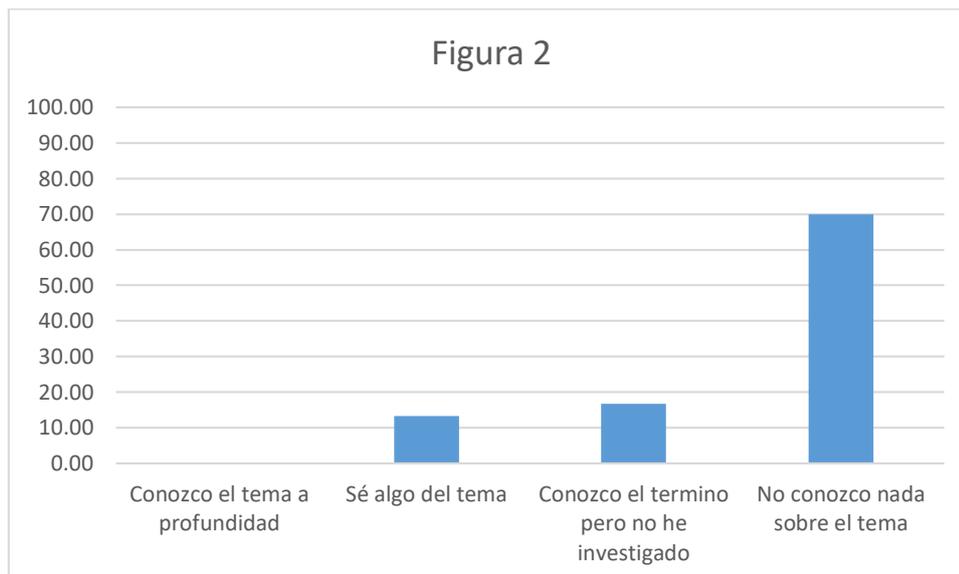
Este indicador tiene asociada una pregunta en la encuesta realizada para determinar el conocimiento de un sistema de internet de las cosas.

Pregunta 2: ¿Cuál es el conocimiento actual que se posee sobre sistemas de Internet de las Cosas?,

*Tabla 6. Pregunta 2*

	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>	<b>% Valido</b>	<b>% Acumulado</b>
Conozco el tema a profundidad.	0	0.00	0.00	0.00
Sé algo del tema.	4	13.33	13.33	13.33
Conozco el término, pero no he investigado sobre el tema.	5	16.67	16.67	30.00
No conozco nada sobre domótica.	21	70.00	70.00	100.00
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 6. Pregunta 2*

*Fuente: Elaboración propia*

Interpretación: Según se observa en la figura, con respecto al conocimiento actual, ni una persona sabe con profundidad sobre el tema. Un 15 % tiene un conocimiento superficial. El 20% escucho el termino, pero no investigó. Y como apreciamos, la mayoría de ellos, el 70%, no conoce nada sobre el tema.

#### **4.1.3. Utilidad**

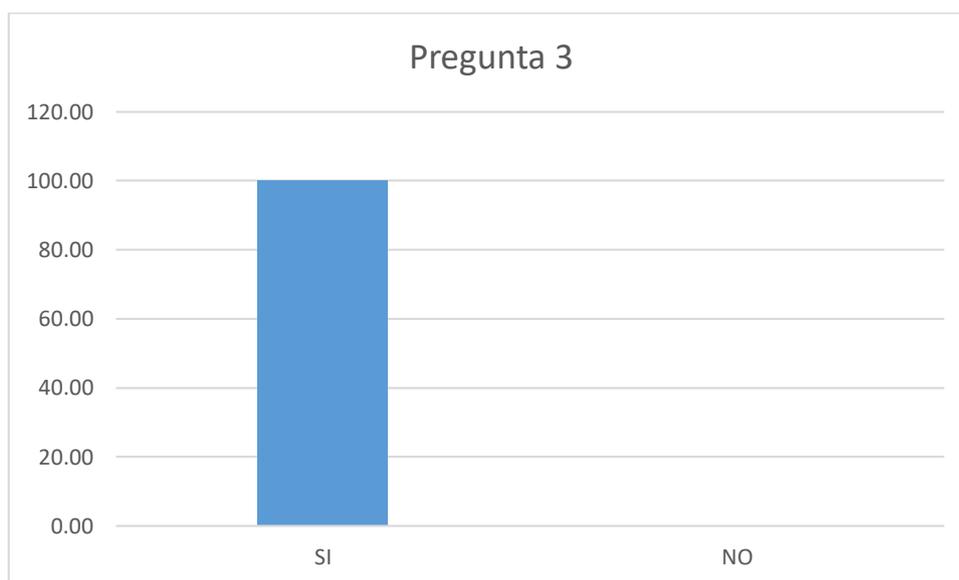
Este indicador tiene asociada una pregunta en la encuesta realizada para determinar la utilidad de un sistema de internet de las cosas.

Pregunta 3: 3. Los sistemas de Internet de Cosas es manera como conectamos objetos a internet con la finalidad de obtener información importante para optimizar diferentes procesos y mejorar la calidad de vida de las personas. Conociendo esto, ¿Cree que es útil la integración de Internet de las Cosas en nuestras vidas?

*Tabla 7. Pregunta 3 - Tabla de Frecuencia*

	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>	<b>% Valido</b>	<b>% Acumulado</b>
SI	30	100.00	100.00	100.00
NO	0	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	

*Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 7. Pregunta 3*

*Fuente: Elaboración Propia*

Interpretación: Según se observa en la figura, con respecto a la utilidad de la integración de Internet de las Cosas en nuestras vidas, se puede apreciar que un 100% de los encuestados, reconoce la importancia de la implementación de un sistema de Internet de las Cosas en nuestras vidas.

## 4.2. Variable dependiente: Gestión de agua en la agricultura

### 4.2.1. Nivel

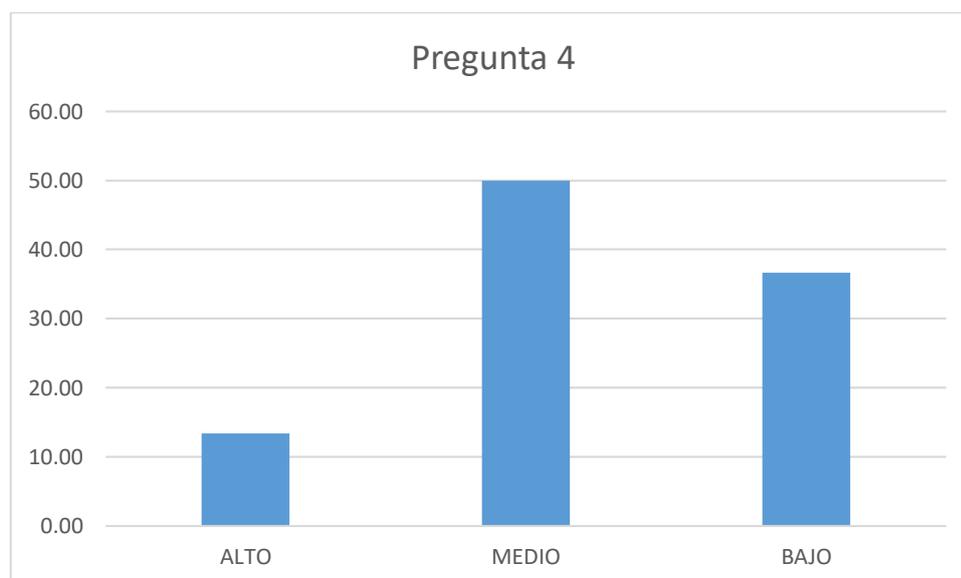
Este indicador tiene asociada una pregunta en la encuesta realizada para determinar la necesidad de optimizar la gestión del agua

Pregunta 4: ¿Cómo consideraría el nivel de la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna?,

Tabla 8. Pregunta 4

	Frecuencia	%	% Valido	% Acumulado
<b>ALTO</b>	4	13.33	13.33	13.33
<b>MEDIO</b>	15	50.00	50.00	63.33
<b>BAJO</b>	11	36.67	36.67	100.00
<b>Total</b>	30	100.00	100.00	

Fuente: Elaboración Propia



Pregunta 4 – Grafico

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: se observa en la figura, con respecto a la gestión del agua en la agricultura, un 50% considera que existe un nivel medio de la gestión del agua, un 36% considera que el nivel de gestión es bajo, mientras que una pequeña minoría piensa que es alto.

#### 4.2.2. Esfuerzo

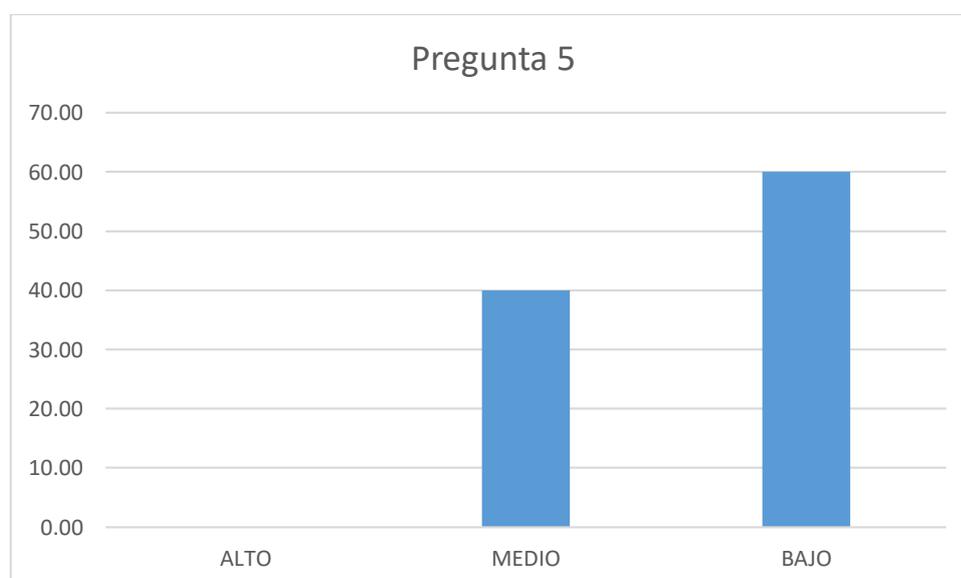
Este indicador tiene asociada una pregunta en la encuesta realizada para determinar si existe algún esfuerzo para de optimizar la gestión del agua

Pregunta 5: ¿Cuál es el esfuerzo que se realiza en la actualidad para mejorar la gestión agua en la agricultura de la región Tacna?

Tabla 9. Pregunta 5

	Frecuencia	%	% Valido	% Acumulado
<b>ALTO</b>	0	0.00	0.00	0.00
<b>MEDIO</b>	12	40.00	40.00	40.00
<b>BAJO</b>	18	60.00	60.00	100.00
<b>Total</b>	30	100.00	100.00	

Fuente: Elaboración Propia



Pregunta 5 – Grafico

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: se observa en la figura, con respecto a la gestión del agua en la agricultura, nadie indico que se hiciera un gran esfuerzo para mejorar la gestión del agua, mientras que el 40% considera que se hace un esfuerzo mediano y un 60% considera que el esfuerzo bajo. Por lo tanto, podemos afirmar que los agricultores afirman que existe un nivel bajo de esfuerzo en la gestión de agua.

#### 4.2.3. Gasto

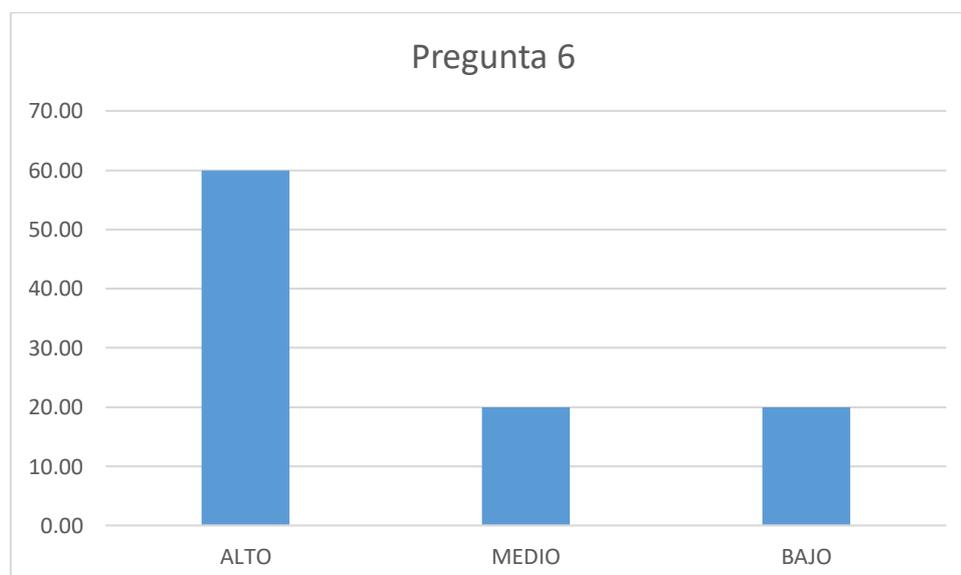
Este indicador tiene asociada una pregunta en la encuesta realizada para el gasto realizados para la gestión del agua en la agricultura.

Pregunta 6: ¿Cómo consideras los gastos realizados en la gestión del agua en la agricultura?

Tabla 10. Pregunta 6

	Frecuencia	%	% Valido	% Acumulado
<b>ALTO</b>	18	60.00	60.00	60.00
<b>MEDIO</b>	6	20.00	20.00	80.00
<b>BAJO</b>	6	20.00	20.00	100.00
<b>Total</b>	30	100.00	100.00	

Fuente: Elaboración Propia



Pregunta 6 – Grafico

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: Se observa en la figura, con respecto al gasto realizado en la gestión del agua, que un 60% considera que gastan mucho en el pago del agua, un 20% piensa que es medio, así como también las personas que piensan que es bajo el costo para la gestión del agua. Por lo tanto, podemos afirmar que existe una cantidad elevada en los gastos realizados para la gestión de agua.

#### **4.3. Análisis de resultados de las encuestas**

En primer lugar, el objetivo de las encuestas fue determinar si hay una necesidad entre los agricultores de mejorar su proceso y/o método de riego para optimizar el uso del agua en el cultivo.

Entonces, se determinó desde el principio de la presente investigación que el problema general se basa en la efectividad de implementar un sistema de Internet de las Cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura basándonos en que existe un escaso recurso hídrico en nuestra región. Es por eso, que, al hacer la encuesta, determine el problema y que existe una necesidad para optimizar el proceso de riego del cultivo para mejorar la gestión del agua.

#### **4.4. Características del sistema de riego por goteo**

La red de riego está compuesta por un reservorio con 600 000 l. El sistema de riego se encuentra en un cuarto de control, donde se encuentran los filtros y una bomba centrífuga trifásica de caudal de 5 HP y 4.9 amperios, con un caudal de 350 l/min.

Funcionamiento nominal del sistema de riego, tienen como entrada y salida una tubería de 2", una troncal que distribuye el agua de 2",

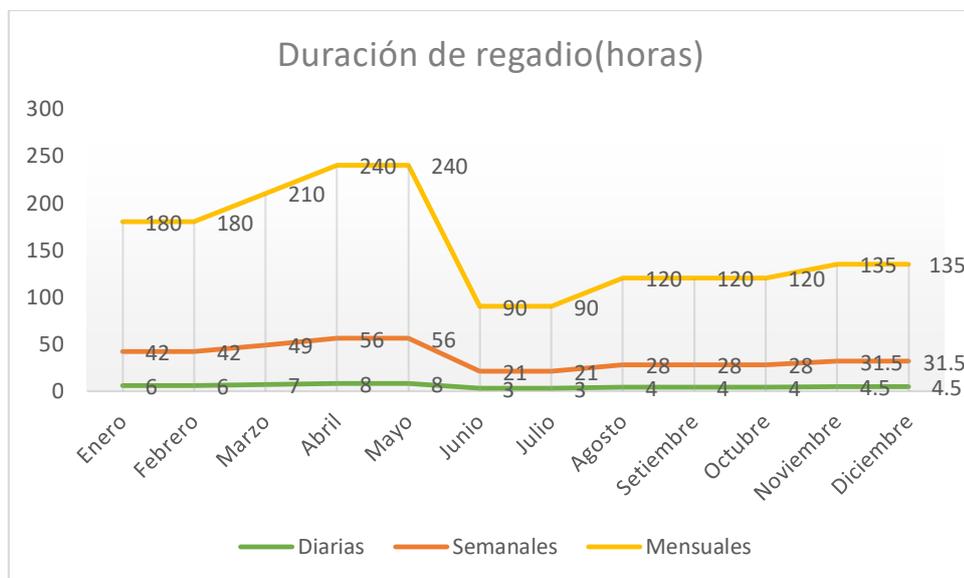
Aproximadamente 40 tubos de 1/2", los cuales están conectados a la troncal, para luego distribuir el agua por el método de goteo a más de 80 ejemplares de olivo.

Los motores son activados por un controlador marca Galcon, el cual es programado para que a ciertas horas se riegue el cultivo, sin alguna retroalimentación acerca del clima.

#### 4.5. Resultado obtenido del sistema de riego por goteo sin optimización

Para obtener un promedio de horas riego durante el transcurso del año, primero se revisó el controlador utilizado por los dueños de área de cultivo de olivo, para tratar de extraer sus datos de la EEPROM del controlador, pero no se pudo ya que se pudo haber perdido el programa interno. Por ello se estimó el tiempo con una comunicación directa con el agricultor para estimar la cantidad de agua consumida.

En el siguiente cuadro de muestras la cantidad de horas irrigadas por mes.



*Figura 8. Duración de regadío(Horas)*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 8 se puede observar la cantidad de horas de riego efectuadas en diferentes meses, segmentadas entre diaria, semanales y mensuales. Los cuales muestran que en estaciones de verano es cuando se incrementa las horas de riego porque las altas temperaturas evaporan en agua del cultivo.

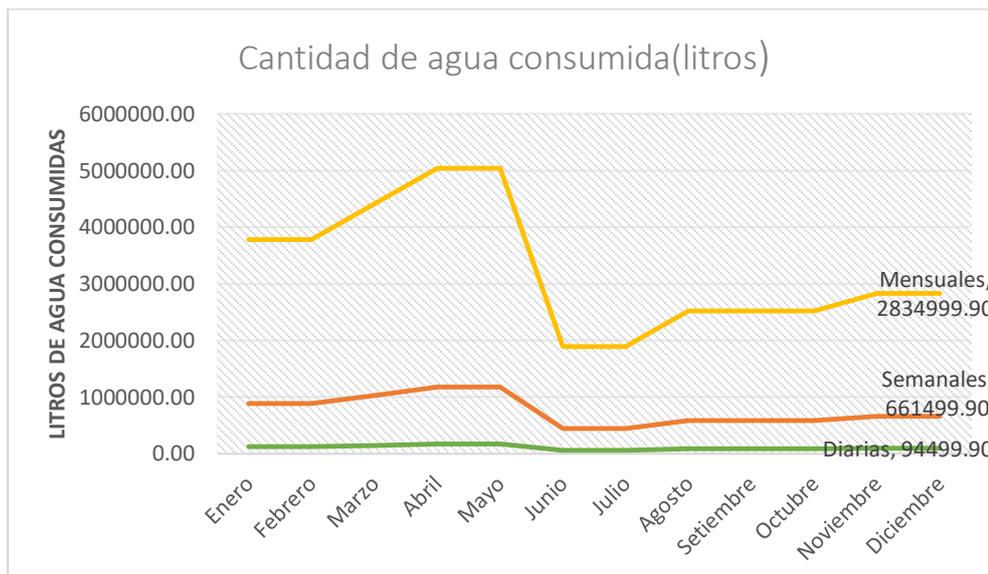


Figura 9. Cantidad de litros de consumo en el riego del cultivo

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos observar en la figura 9, se calculó la cantidad de agua utilizada basándonos en el tiempo efectivo de riego, sabiendo que el caudal es de 350 l/min.

#### 4.5.1. Eficiencia del transporte del agua

A continuación, se determinó la eficiencia del transporte de agua, es decir cuan eficiente es el sistema de tuberías para el riego.

Se determinó la eficiencia del transporte

$$E_c = 100 \left( \frac{350 \times 9.8\%}{350} \right) \quad (8)$$

$$E_c = 90.2\%$$

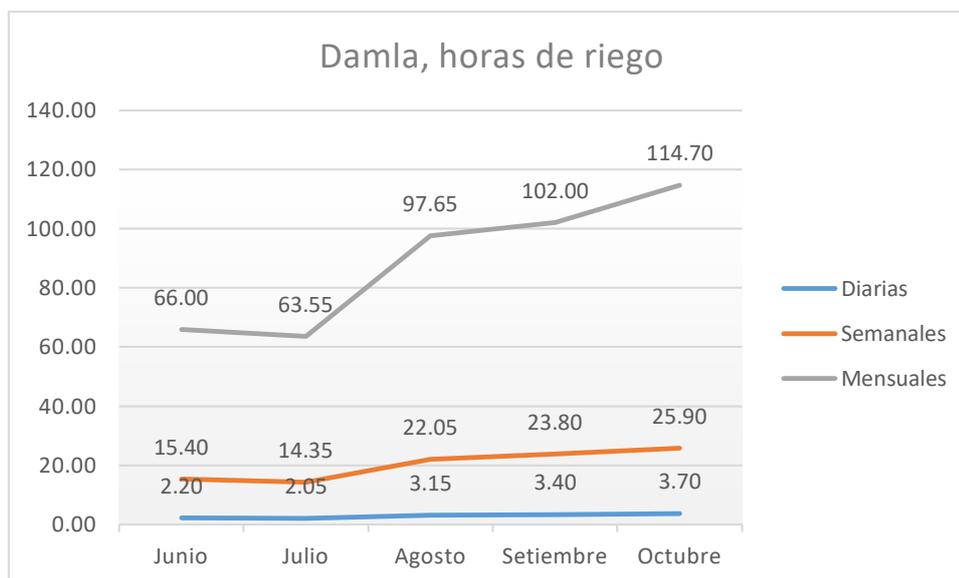
Donde:

350 = es el caudal del ducto de distribución

9.8% = es la pérdida de presión de agua entrada debido a las curvas de sistema de tubería.

#### 4.6. Características del Sistema de Internet de las Cosas, Damla

Los datos analizados están basados en el tiempo en que Damla activa las bombas de agua para regar el cultivo, estos datos sirven para determinar un aproximado de cuánta agua consumo en relación al tiempo en que las bombas de agua riegan el cultivo. Los datos capturados son a partir de la fecha en que Damla empezó a operar.



*Figura 10. Horas de riego del Sistema con Damla*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 10, observamos un promedio de las horas de riego efectuadas entre los meses de junio y octubre. La tendencia a subir las horas de riego también se replica como el sistema de convencional de riego, es decir por la estación o temporada del año.

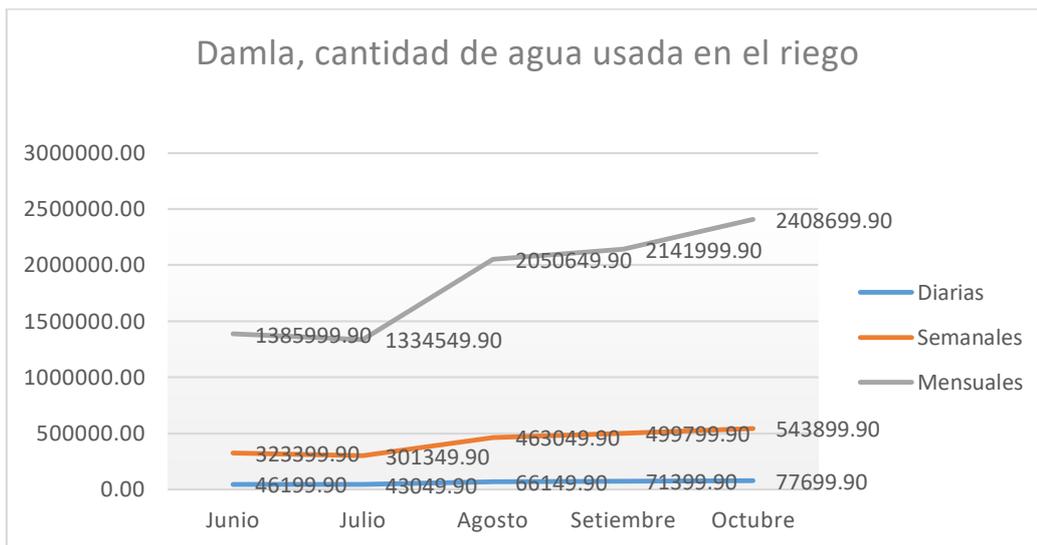


Figura 11. Cantidad de agua usada en el riego, Damla

Fuente: Elaboración Propia

En la figura de 11, observamos la cantidad de agua utilizada para el riego, teniendo que se tenía la misma bomba de agua, es decir una bomba de 350 l/min.

#### 4.7. Sistema de regadío tradicional y regadío con Damla

Tomamos los datos en relación a los meses en que ambos sistemas trabajaron en paralelo, para así determinar el nivel de efectividad que tienen Damla sobre un sistema tradicional de riego.

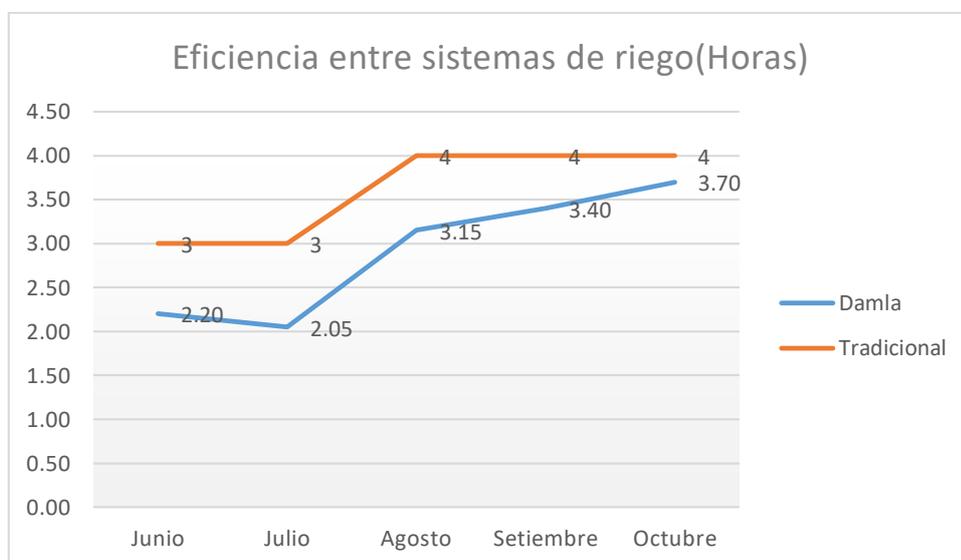
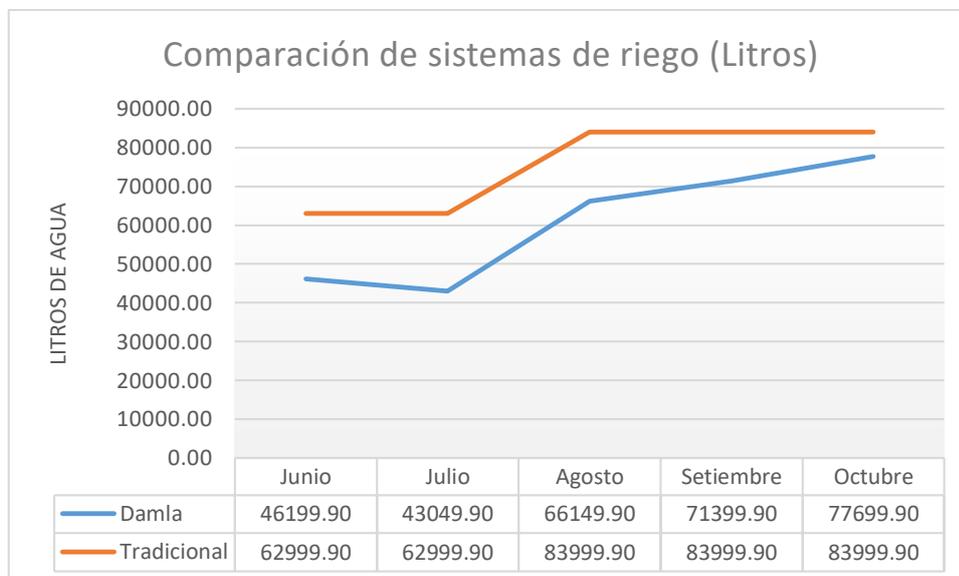


Figura 12. Eficiencia entre sistemas de riego (Horas)

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 12, observamos una tendencia en horas utilizadas en el regadío entre ambos sistemas. Podemos observar que, con el sistema de internet de las cosas, Damla tenemos un menor tiempo de riego, el cual equivale a mayor ahorro de agua.



*Figura 13. Comparación de sistemas de riego (Litros)*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 13, observamos una media de la cantidad de agua utilizada diariamente entre ambos sistemas. Podemos observar que con Damla, obtenemos un ahorro de agua basándonos en el tiempo de riego.

Entonces, tomando los resultados de las horas diarias podemos determinar la mediana de las horas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (9)$$

$$\bar{X} = \text{Mediana}$$

$X_i$  = el conjunto de observaciones

$n$  = número de elementos

**Entonces:**

$$\bar{X}_{\text{tradicional}} = 4$$

$$\bar{X}_{Damlá} = 3.15$$

Es decir que Damlá es 21.25% más efectivo que el sistema tradicional de goteo controlado con controladores de tiempo.

Teniendo en cuenta la media entre ambos sistemas, podemos decir que:

Sistema Traditional	Sistema Damlá
Aut = $4 \cdot (350 \cdot 60) - (100 - E_c)$	Aut = $3.15 \cdot (350 \cdot 60) - (100 - E_c)$
Aut = $4 \cdot (350 \cdot 60) - (100 - 90.02)$	Aut = $3.15 \cdot (350 \cdot 60) - (100 - 90.02)$
Aut = 83999.90 l.	Aut = 66149.90 l.

Aut= Agua utilizada para regar

Donde  $E_c$  = Eficiencia del transporte de agua

Considerando los datos calculados para una media de horas de riego diaria podemos decir que Damlá ahorra diariamente 17 849 litros de agua.

#### 4.8. Contraste de hipótesis

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos sobre la cantidad de agua utilizada para el riego diariamente observados en la figura 13, se realizó la prueba estadística de T-student para muestras independientes.

Datos:

Nivel de significancia = 5% es decir 0.05

Formulación de Hipótesis:

$H_0$ = El sistema de riego tradicional por método de goteo es efectivo para la optimización de la gestión del agua en la agricultura.

$H_1$ = La implementación de un sistema de Internet de las Cosas es efectiva para la optimización de la gestión del agua en la agricultura

Entonces se obtuvieron los siguientes resultados a través del software IBM SPSS

Tabla 11. Grupo estadístico

			Grupo Estadístico		
	Riego	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Agua	Damla	5	56899.900 0	11497.44537	5141.81388
	RT	5	75599.900 0	11502.17371	5143.92846

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Prueba de muestras independientes

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper
Agua	Equal variances assumed	.020	.891	-2.571	8	<b>.033</b>	-18700.000	7273.1831	-35471.84091	-1928.15909
	Equal variances not assumed			-2.571	8.000	<b>.033</b>	-18700.000	7273.1831	-35471.84140	-1928.15860

Fuente: Elaboración propia

Observamos que el valor p o significancia asintótica bilateral es de 0.033.

Como establecimos un valor de significancia de 0.05 podemos decir:

$$0.033 < 0.05$$

Como nuestro valor p es menor al nivel de significancia establecido rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna,

Puedo decir que se ha encontrado diferencias significativas entre ambos sistemas y podemos validar que Damla es un sistema de internet de las cosas que optimiza la gestión del agua en la agricultura.

#### 4.9. Costo beneficio

Para determinar el costo beneficio de la investigación implementada en campo de cultivo se consideró el gasto que el dueño debió hacer para automatizar y controlar un área total de 3535 m<sup>2</sup>.

##### 4.9.1. Inversión Inicial para funcionamiento tecnológico

A continuación, se muestra la cantidad de dinero que el agricultor tuvo que hacer para la implementación del sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua.

*Tabla 13. Inversión Inicial del propietario*

Concepto	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	%
<b>Consultoría y/o servicios</b>	1		200	8.86
<b>Instalación de equipo Damla</b>	2	100	200	8.86
<b>Licencia de Uso de Damla</b>	2	270	540	23.93
<b>Equipos(Dispositivo Damla)</b>	2		622.3	27.57
<b>Valulas Solenoides 2"</b>	4	173.68	694.72	30.78
		Total	2257.02	100.00

*Fuente: Elaboración propia*

Se precisa que la licencia del uso de Damla, es por el uso que le dará el agricultor para controlar y monitorear su cultivo desde Internet, el gasto de la licencia es de un año por ambos dispositivos o una membresía mensual de S/45 soles. Los costos de los dispositivos se pueden apreciar en los Anexos.

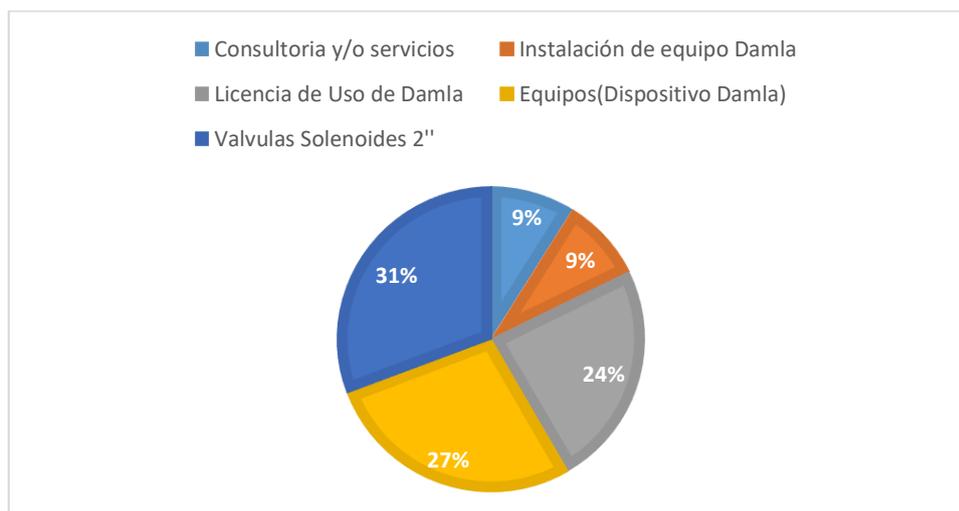


Figura 14. Inversión Inicial del propietario

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución de los gastos se observa que se invertirá más en la compra de las válvulas solenoides y la de los dispositivos respectivamente.

#### 4.9.2. Cuantificación económica según la mediana de riego efectivo

A continuación, se cuantifico los datos de la media de horas de riego registrada anteriormente de ambos tipos de sistemas de riego, tradicional y la implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar el agua en la agricultura de la Región Tacna.

Tabla 14. Gasto económico de Damla con respecto a la electricidad

Gasto energético con el Sistema de Internet de las Cosas -Damla							
Item	Conexión	Corriente	Potencia Wh	Precio KWh	Costo uso por hora	Horas al día	Costo S/.
<b>Motor</b>	Trifásico	4.9	2156	4.28	9.22	3.15	29.07
<b>Damla Actuador</b>	Monofásico	2	24	4.28	0.10	3.15	0.32
						Total	29.39

Fuente: Elaboración propia

Los datos registrados en la tabla 14 registrados como corriente, potencia y corriente son registrados de las especificaciones técnicas de la bomba de agua utilizada para el riego y el precio de KW/h fueron registrados del pliego tarifario de electricidad de Electrosur S.A.

*Tabla 15. Gasto económico de sistema de riego tradicional con respecto a la electricidad*

<b>Costo económico de la energía con el Sistema de Riego Tradicional</b>							
Item	Conexión	Corriente	Potencia (Wh)	Precio KWh	Costo uso por hora	Horas	Costo
<b>Motor</b>	Trifásico	4.9	2156	4.28	9.22768	4	36.91

*Fuente: Elaboración propia*

**Diferencia:**

*Tabla 16. Diferencia de costo energético diario entre ambos sistemas*

Sistema	Costo Diario S/.
Sistema de Internet de las Cosas Damla	29.39
Sistema de Riego Tradicional	36.91

*Fuente: Elaboración propia*

Como observamos en la tabla anterior, los gastos económicos de Damla es inferior al del sistema de riego tradicional por S/7.84 soles diarios.

La valorización del gasto económico de las tablas 14 y 15 están relacionadas a los resultados obtenidos con respecto a la mediana de las horas de riego efectivas.

*Tabla 17. Ahorro económico energético de acuerdo a la mediana de hora efectivas de riego*

<b>Ahorro Económico con respecto a la electricidad</b>			
	<b>Ahorro Diario</b>	<b>Mensual</b>	<b>Anual</b>
Sistema de Internet de las Cosas Damla	7.52	225.52	2706.21

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 17, observamos con más claridad la cantidad de dinero ahorrada durante un año.

Ahora consideramos también los datos registrados en el riego efectivo diario en litros para determinar cuál es el ahorro económico en el agua.

Cabe mencionar que los registros dados son en base al costo del agua vigente de categoría industrial.

*Tabla 18. Ahorro económico de agua de acuerdo a la mediana de hora efectivas de riego*

Diferencia económica entre el Sistema Damla y el sistema de riego tradicional							
	Horas Riego	Caudal	Diario	Mensual	Agua m <sup>3</sup>	Costo M <sup>3</sup> de agua	Soles
<b>Damla</b>	3.15	350 l/min	66150	1984500	1980.45	0.2503	498.70
<b>Tradicional</b>	4	350 l/min	84000	2520000	2520	0.2503	630.75

*Fuente: Elaboración propia*

Los datos registrados en la tabla 18 como el caudal son adquirido de las especificaciones del motor anteriormente mencionado y el costo del agua en m<sup>3</sup> es adquirido de estructura tarifaria del consejo directivo N° 056-2018-SUNASS.

#### 4.9.3. Cuantificación económica de los datos registrados por mes

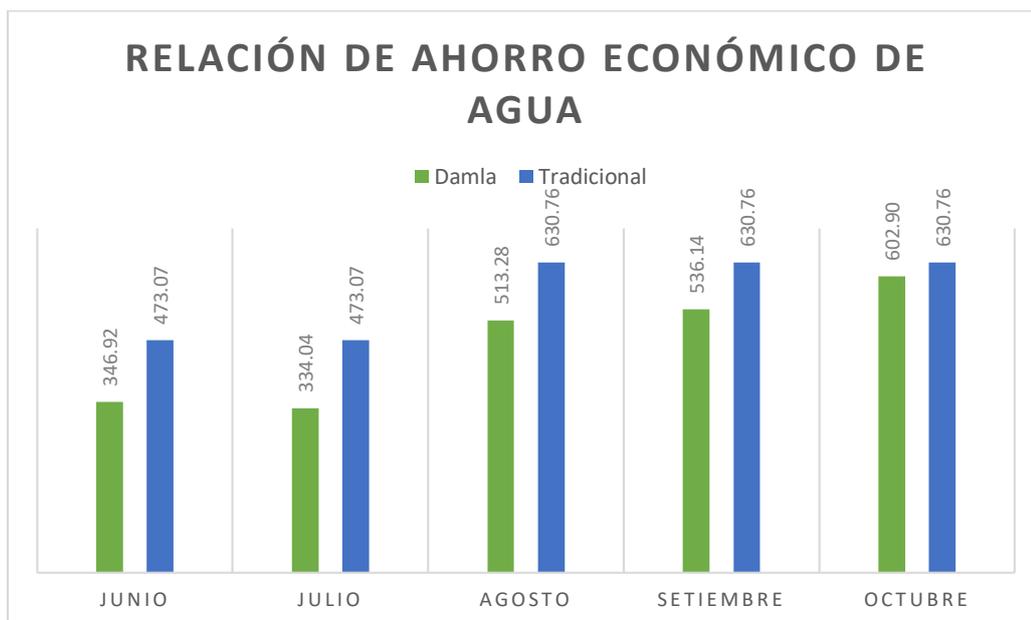
##### a. Agua

En la siguiente tabla observamos la cantidad de agua en M<sup>3</sup> consumida durante diferentes meses y su equivalencia en soles peruanos.

*Tabla 19. Diferencia económica del uso agua*

Ahorro económico de agua					
	Damla		Tradicional		Diferencia
Mes	M <sup>3</sup>	S/	M <sup>3</sup>	S/	Ahorro
<b>Junio</b>	1386.00	346.92	1890.00	473.07	<b>126.15</b>
<b>Julio</b>	1334.55	334.04	1890.00	473.07	<b>139.03</b>
<b>Agosto</b>	2050.65	513.28	2520.00	630.76	<b>117.48</b>
<b>Setiembre</b>	2142.00	536.14	2520.00	630.76	<b>94.61</b>
<b>Octubre</b>	2408.70	602.90	2520.00	630.76	<b>27.86</b>

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 15. Diferencia económica del uso agua*

*Fuente: Elaboración propia*

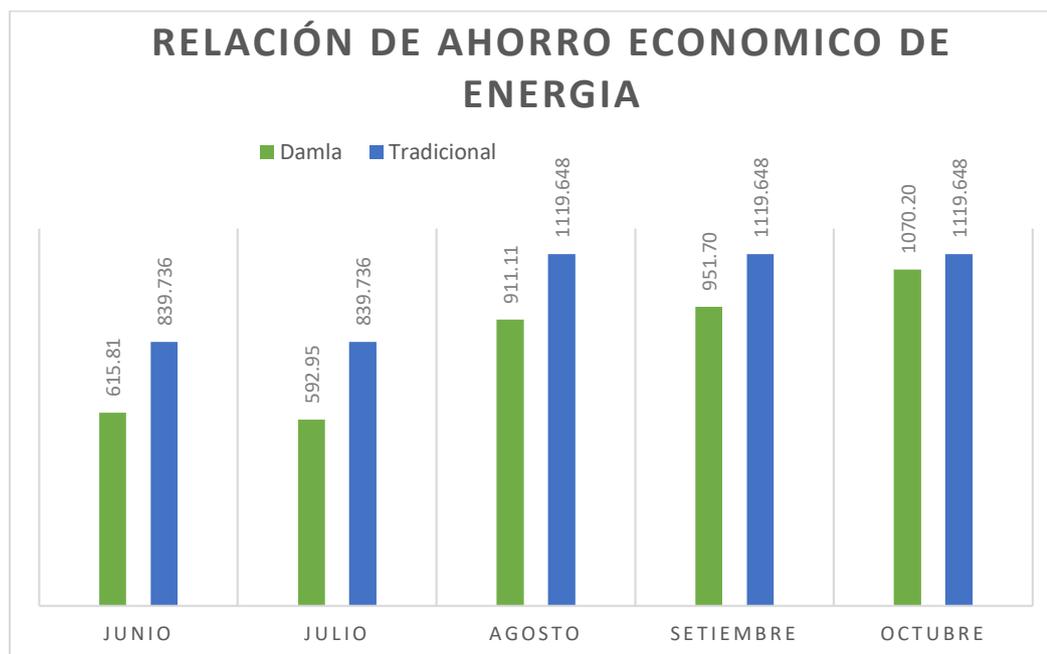
#### **b. Energía eléctrica**

En la siguiente tabla observamos la cantidad de energía eléctrica utilizada en base a los KW 3 consumida durante diferentes meses y su equivalencia en soles peruanos.

*Tabla 20. Diferencia económica del uso de energía eléctrica*

<b>Ahorro económico de energía</b>					
<b>Mes</b>	<b>Damla</b>		<b>Tradicional</b>		<b>Diferencia</b>
	<b>KW</b>	<b>Damla</b>	<b>KW</b>	<b>Tradicional</b>	
<b>Junio</b>	143.88	615.81	196.2	839.736	<b>223.93</b>
<b>Julio</b>	138.54	592.95	196.2	839.736	<b>246.79</b>
<b>Agosto</b>	212.88	911.11	261.6	1119.648	<b>208.53</b>
<b>Setiembre</b>	222.36	951.70	261.6	1119.648	<b>167.95</b>
<b>Octubre</b>	250.05	1070.20	261.6	1119.648	<b>49.45</b>

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 16. Diferencia económica del uso de energía eléctrica*

*Fuente: Elaboración propia*

### c. Combustible

También se consideró como ahorro el gasto en gasolina que el agricultor hace para transportarse hasta el cuarto de control para activar de manera manual.

Para ello se tiene como dato que la distancia que recorre diariamente en ida es de 2.95 Km.

Pero el usuario riega en diferentes intervalos de tiempo durante el día, teniendo aproximadamente dos viajes.

*Tabla 21. Recorrido en kilómetros*

Viaje	Ida	Vuelta	Total Km
1	2.95	2.95	5.9
2	2.95	2.95	5.9
Total			11.8

*Fuente: Elaboración propia*

El total recorrido diario es 11.8 Km, teniendo en cuenta que el precio del galón de gasolina 84, tipo de gasolina utilizado por el agricultor, tiene un precio de S/.10.30 soles según los reportes de precios de combustibles de

Repsol del 18 de diciembre de 2019. Si cada galón tiene un uso efectivo de 30 Km para una camioneta del '97 tendremos un consumo total de S/4.57 soles diarios solo en gasolina para un recorrido de 11.8 Km.

*Tabla 22. Consumo económico en combustible*

<b>Viaje</b>	<b>Recorrido diario</b>	<b>Consumo en S/.</b>	<b>Consumo mensual</b>
<b>1</b>	11.8	4.57	137.23

*Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en la tabla 24, tendremos un consumo mensual aproximado de S/.121.54 soles. El gasto utilizado solo porque el agricultor no tiene una herramienta que permita un control remoto de su cultivo o simplemente un sistema que determine de manera autónoma el tiempo de riego efectivo.

#### **4.9.4. Viabilidad del proyecto**

##### **a. Ahorro económico**

Obtenido los datos de gastos sobre la energía, agua y combustible se obtuvo el siguiente ahorro:

*Tabla 23. Ahorro económico total*

<b>Ahorro económico general</b>				
<b>Mes</b>	<b>Agua S/.</b>	<b>Luz S/.</b>	<b>Combustible S/.</b>	<b>Total Ahorrado S/.</b>
Junio	223.93	126.15	137.23	487.31
Julio	246.79	139.03	137.23	523.05
Agosto	208.53	117.48	137.23	463.24
Setiembre	167.95	94.61	137.23	399.79
Octubre	49.45	27.86	137.23	214.54

*Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en la tabla 23, se determinó un ahorro económico total de los beneficios del sistema Damla. Con los datos de ahorro listos se procedió a una evaluación de viabilidad del proyecto del costo beneficio.

Tenemos la inversión de S/.1717.02 soles, tal como indico en la tabla 13, cabe resaltar que la inversión total no se consideró el ítem del uso de la licencia de Damla. A continuación, se muestra Damla como producto, es decir, un sistema autónomo que determina el riego efectivo del cultivo. Posteriormente a Damla como servicio, es decir la posibilidad de monitorear y controlar desde cualquier parte del mundo a través de una interfaz gráfica su cultivo.

*Tabla 24. Ahorro beneficio con autonomía- Damla como producto*

<b>Gastos</b>	<b>MES 1</b>	<b>MES 2</b>	<b>MES 3</b>	<b>MES 4</b>	<b>MES 5</b>
<b>Sistema Tradicional</b>	1312.80	1312.80	1,750.40	1,750.40	1,750.40
<b>Sistema Damla</b>	962.72	926.98	1,424.39	1,487.39	1,673.09
<b>Ahorro beneficio</b>	350.08	385.82	326.01	263.01	77.31

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 25. Ahorro beneficio con autonomía y control remoto- Damla como servicio*

<b>Flujo de Caja</b>	<b>MES 1</b>	<b>MES 2</b>	<b>MES 3</b>	<b>MES 4</b>	<b>MES 5</b>
<b>Costo-Beneficio</b>	350.08	385.82	326.01	263.01	77.31
<b>Membresía</b>	-45.00	-45.00	-45.00	-45.00	-45.00
<b>Ahorro beneficio neto</b>	305.08	340.82	281.01	218.01	32.31

*Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en la tabla 25, el ahorro beneficio disminuye considerablemente cuando se tiene una membresía de S/.45 soles por dos dispositivos Damla.

Ahora se valoró el ahorro adicional con respecto al gasto realizado en la movilización del agricultor, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 26. Ahorro beneficio- Flujo de ingreso

Flujo de Caja	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5
<b>Inversión</b>	-1,717.02					
<b>Ahorro beneficio</b>		487.31	523.05	463.24	400.24	214.54
<b>Membresía</b>		-45.00	-45.00	-45.00	-45.00	-45.00
<b>Utilidad Neta</b>	-1,717.02	442.31	478.05	418.24	355.24	169.54

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evaluó la viabilidad según el ahorro beneficio que se especifica en la tabla 23. de la implementación del proyecto según los datos económicos registrados según el ahorro económico en uso del agua, electricidad y combustible con la membresía del uso del sistema de manera remota. Para ello se determinó el valor actual neto y la razón beneficio-costos.

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} - I = 0 \quad (9)$$

VAN= Valor actual neto

Qn = Flujo de caja en el periodo n

N = número de periodo

L = es el valor de la inversión inicial

Se determinó un VAN = S/. 1813.32 hasta los primeros 5 meses de desempeño del sistema. Como el VAN es mayor a la inversión se concluye que con una membresía de S/.22.5 soles por dispositivo el proyecto es viable para que el agricultor lo implemente en un área de cultivo de 3535 m<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta un ahorro total de los diferentes ítems de la tabla 26, se evaluó la viabilidad del proyecto de acuerdo al valor actual neto y el beneficio costo obteniendo la siguiente tabla.

$$R_{B/C} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (10)$$

$B_j$  = Flujo neto positivo en el periodo  $k$

$C_j$  = Flujo neto negativo en el periodo  $j$

$i$  = tasa de descuento del inversionista (TMAR)

$N$  = Horizonte de evaluación

Se determinó que el valor  $B/C$  es 1.06 en los primeros 5 meses de desempeño del sistema. Como la relación  $B/C$  es mayor a 1, se concluye que el proyecto es viable para el agricultor.

Según la tabla 26, se determinó siguientes valores para el VAN y  $B/C$ :

Valor Actual Neto: S/. 1813.32

Razón Beneficio/Costo: 1.06

#### a. Tiempo

El ahorro de tiempo está determinado por la cantidad de minutos le toma al agricultor llegar hasta su centro de control para activar las bombas.

Para ello se determinó la distancia entre la casa del dueño del agricultor y la parcela donde se instaló el sistema Damla. Para ello se calculó la distancia según google maps.



*Figura 17. Tiempo de viaje del agricultor*

*Fuente: Elaboración propia*

A través de las imágenes satelitales de google maps se determinó que el dueño de la parcela recorre una distancia de 2.95 Km desde La Ampliación de la Yarada hasta su parcela de olivos en el asentamiento 4 de la Yarada-Los Palos.

A una velocidad media de 30 Km/h, una velocidad que le permite al conductor manejar con seguridad en terrenos hostiles. Y la distancia hallada a través de las imágenes satelitales se determinó que al agricultor le toma 5 minutos 54 segundos para llegar a su parcela de olivos y regar el cultivo.

Teniendo en cuenta que el agricultor riega normalmente riega de 2-4 horas durante diferentes horarios del día se considera que:

*Tabla 27. Tiempo invertido en riego*

Viaje	Ida	Vuelta	Total
1	5' 54"	5' 54"	11' 48"
2	5' 54"	5' 54"	11' 48"
Total			23' 24"

*Fuente: Elaboración propia*

Es decir, el agricultor pierde casi 24 minutos al día para llegar solamente su cultivo, sin considera el tiempo que le tomará aperturar las válvulas manuales en el terreno.

**b. Calidad de cultivo**

Al determinar la efectividad del riego del cultivo, también se ofrece al agricultor una mejor calidad del cultivo, tal como indican, Hedley & Yule (2013) en su publicación "Farmer uptake of variable rate irrigation technologies in New Zealand", en el cual mencionan que una cantidad del cultivo más exacta no solo ahorra agua, sino que mejora la calidad del cultivo.

Así también lo mencionan Margaris & Mooney (2013) en su libro "Componentes of productivy Of Mediterranean-climate regions Basic and apllied aspects", que el exceso de agua induce al mismo efecto que la escasez del agua o salinidad en la disminución de la capacidad de fotosíntesis y clorofila, por lo tanto, disminuye la calidad del cultivo.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El resultado del procesamiento de la información con Damla, ha permitido obtener resultados positivos para la optimización del ahorro de agua en la irrigación del cultivo, pero es importante mencionar que el proyecto podría funcionar de mejor manera en invernaderos, ya que se aprovecharía mejor sus sensores como el de temperatura y humedad, las cuales en un invernadero servirían como elemento de control para cambiar la temperatura del ambiente y la humedad, así poder tener mejores resultados en cuanto la calidad del cultivo.

Si bien existen diferentes métodos para la mejora de riego en el cultivo, por ejemplo, determinar la evapotranspiración con el método de FAO, Penman y Penman-Monteith o Hargreaves-Samani los cuales determinan la evapotranspiración para que luego se pueda hacer un cronograma de riego, en la presente investigación se utilizó una función híbrida para que el sistema pueda tomar decisiones en tiempo real y no necesariamente diseñe un cronograma de riego.

Las propuestas para mejorar el uso del agua en la Región de Tacna son escasas de innovación tecnología y deficientes. Por ello es de mucha importancia que el proyecto Damla pueda seguir implementándose en diferentes campos de cultivo. Por ello se tendrá que elaborar un artículo científico para su presentación en el colegio de Ingeniero de Ingenieros del Perú, ANA y demás organizaciones de interés.

También Internet de las Cosas es un mercado emergente y con la llegada de la red 5G aún más. Es decir, al diseñar un dispositivo electrónico, el proyecto fácilmente puede escalar para seguir conectando otros dispositivos a internet el cual vuelve al proyecto realizado en mi investigación en un potencial producto y/o servicio comercializable que principalmente esté al alcance de los agricultores.

## CONCLUSIONES

- Con una reducción de 21.25% de tiempo el riego efectivo del cultivo, se concluye que un sistema de Internet de las Cosas optimiza la gestión del agua en la agricultura ya que las horas de riego está directamente relacionada al agua utilizada para el riego.
- Se evidencia notables mejoras respecto a otros métodos tradicionales asegurando un mejor uso de un recurso natural tan escaso como el agua. Pero también es importante resaltar que el sistema provee un ahorro energético, ya que está directamente relacionado al uso de las bombas eléctricas en el riego.
- También se evidencio beneficios económicos relacionados al uso del agua y energía. También ahorro de tiempo en las actividades del agricultor, aunque este factor tiempo es relativo a la distancia, medio de transporte que use el agricultor. También se destaca un incremento en la calidad del cultivo al hecho de que el cultivo recibe el agua que realmente necesita.
- El uso de sensores en un dispositivo electrónico, como Damla, proporciona mejoras en el proceso de riego en la Agricultura. Es decir, profesionales relacionados a la tecnología e información pueden cubrir soluciones relaciones sobre un mercado emergente de internet de las cosas.
- En las estaciones como la primera o verano, es cuando más se requiere del agua, llegando a escasear el agua en los reservorios el cual provoca que a veces se pierda la cosecha de la aceituna por la falta de riego en el cultivo. Sin embargo, esta solución está basada en la nueva revolución industrial 4.0, Internet de las cosas y tecnologías en la nube. Ahora los agricultores pueden usar menos agua para su cultivo, tener una herramienta tecnológica de ingeniería robusta y de primer mundo que permite automatizar, controlar y monitorear su cultivo desde cualquier parte de mundo

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda capacitar a los agricultores en tecnologías de riego basadas en Internet de las Cosas como Damla, a familiarizarse con los teléfonos inteligentes, aunque Damla funcione de manera autónoma, los datos registrados pueden resultar de mucha ayuda a ellos.
- Debe implementarse el sistema en invernaderos, los cuales podrían mejorar la calidad del cultivo y disminuir el tiempo de florecimiento debido a que las condiciones climáticas como la temperatura, humedad, radiación pueden ser controladas.
- Se debe desarrollar más técnicas de riego eficiente, incorporando información de las necesidades de diferentes plantas, tipo de suelo, calidad de tierra, y de agua para así obtener una calidad de producto alto.
- Se debe realizar una mejora en la elección de la batería para el funcionamiento semi-permanente de dispositivo Damla, ya que al estar a la intemperie y con una radiación solar alta, las baterías secas pueden hacer cortocircuito.
- Se debe incorporar el concepto de Internet de las cosas en diferentes aspectos de nuestra vida, por ejemplo, automatizar el riego de parques y avenidas para mantener un ambiente sostenible en la ciudad, conectividad con semáforos inteligentes, edificios inteligentes, medidores de luz inteligente, entre otros. Ya que vivimos en un mundo prácticamente digital y la entrada de la red 5G abrirá muchas oportunidades a los profesionales de internet de las cosas y data science.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahamed, T. (2019). *Deep learning and IoT-based pump systems for precision irrigation*. Tokyo: apo-tokyo.
- Alegria, J. F. (2013). *The Challenges of water resources management in Peru*. Lima.
- Anaya, A., Peluffo, D., Rios, J., Castro, J., Carvajal, D., & Espinosa, L. (2017). *Sistema de Riego Basado en la Internet de las Cosas*. San Miguel de Ibarra.
- Basco, I., Beliz, G., Coatz, D., & Gamelo, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Buenos Aires: Creative Commons.
- Bennett, S. (1993). A History of Control Engineering, 1930-1955. En S. Bennett, *A History of Control Engineering, 1930-1955* (pág. 250). Peter Peregrinus Ltd.
- Bos, M., & Chambouleyron, J. (1998). *Parámetros de desempeño de la Agricultura de Riego de Mendoza, Argentina*. Buenos Aires: International Water Management Institute.
- Bos, M., Kselik, R., Allen, R., & Molden, D. (2009). *Water Requirement for Irrigation and Environment*. Springer.
- Calderón Mendoza, E. (2014). *Desarrollo de un sistema de control neuro-difuso de la distribución de agua en un tramo de un canal principal de riego*. Lima.
- Castro, N., Chamorro, L., & Viteri, C. (2015). *Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado*. Pasto.
- Ciencias. (22 de Enero de 2018). *www.elcomercio.pe*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/razones-escasez-agua-mundo-noticia-490577>
- Clark, L. (24 de Abril de 2015). *wired*. Obtenido de Condé Nast: <https://www.wired.co.uk/article/clive-brown-oxford-nanopore-technologies-wired-health-2015>
- Conor, A. (2012). *Water resource management, group theory and the tragedy of the commons in Tacna, Peru*. Toronto.
- Dave, E. (3 de Abril de 2011). *CISCO*. Obtenido de [www.cisco.com](http://www.cisco.com): [https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf)
- Davis Internacional. (1 de Junio de 2018). *JUPM*. Obtenido de <http://www.jupm.pe>: <http://www.jupm.pe/desarrollo/notas/15278819684/busqueda/fecha/2018-06-25>
- Dennis, A. K. (2013). Raspberry Pi Home Automation with Arduino. En A. K. Dennis, *Raspberry Pi Home Automation with Arduino* (pág. 176). Estados Unidos: PACKT.

- Dias Sales, N. F. (2015). *Cloud-based Wireless Sensor and Actuator System for Smart*. Lisboa.
- Dukes, M., Shedd, M., & Davis, S. (2014). *Smart Irrigation Controllers: Operation of Evapotranspiration-Based Controllers*. Florida: Electronic Data Information.
- Factory Fresh. (9 de Junio de 2016). *Technology Quarterly*. Obtenido de economist: <https://www.economist.com/technology-quarterly/2016-06-09/factory-fresh>
- Flores Aguilar, D. I. (2015). *Software de riego inteligente basado en control difuso para mejorar la administración del consumo de agua en los campos del Valle Chicama*. Trujillo.
- Fry, A. (2005). *Agua: Hechos y tendencias*. Texas: Earthprint Ltd.
- Guzman, J. (2013). *Arduino*. Madrid: MediaLab.
- Hedley, C., & Yule, I. (2013). *Farmer uptake of variable rate irrigation technologies in New Zealand*. Palmerston North: Landcare Research, Gerald St., Lincoln.
- Hiam, D. (20 de Setiembre de 2019). *Cumbre Minera Perumin 34*. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/>: <https://youtu.be/5CTjW8JVxF8?t=621>
- Hongal, A., M, J., & S, P. (2017). *Agriculture, lot baed monitoring system in Smart Agriculture*. Karnataka: IEEE.
- Ivar Jacobson, G. B. (1999). El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. En *The Unified Software Development Process* (pág. 74). Estados Unidos.
- Jorge Abdo Francis, F. D. (2005). Diagnostico sobre el sistema de seguridad Publica en Tabasco. En F. D. Jorge Abdo Francis, *Diagnostico sobre el sistema de seguridad Publica en Tabasco* (pág. 245). Tabasco, Mexico: Univeridad Juavez Autonoma de Tabasco.
- José, M., Calero, V., & Marín, I. (2013). *Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente basado en Sensores y Módulos de Radiofrecuencia para Transmisión y Sistema de Control*. Guayaquil.
- Khan, J., & Yuce, M. (2019). *Internet of things(iot): Sistemas y aplicaciones*. CRC Press.
- Kim, C., Soong, A., Tseng, M., & Xiang, Z. (2011). *Global Wireless Machine-to-Machine Standardization*. IEEE.
- Kranz, M. (2017). *Internet of Things: Construye nuevos modelos de negocio*. Bogotá: LID Editorial.
- Lavoia Pastrana, S. (2016). *Medición y modelamiento de la evapotranspiración real del cultivo de clavel en invernadero en La Sabana de Bogotá, usando lisímetros electrónicos de pesada*. Bogota.
- Leahy, S. (22 de Marzo de 2018). [www.news.nationalgeographic.com](http://www.news.nationalgeographic.com). Obtenido de <https://news.nationalgeographic.com/2018/03/world-water-day-water-crisis-explained/>

- Lequerica, J. R. (2003). *Web Services (edición especial)*. España.
- Lopez, J., Rios, R., Bao, F., & Wang, G. (4 de Octubre de 2017). *Evolving privacy: From sensors to the Internet of Things*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X16306719?via%3Dihub>
- Luquet, D., Vidal, A., Smith, M., & Dauzat, J. (2005). *'More crop per drop': how to make it acceptable for farmers?* Montpellier: ELSEVIER.
- Majumdar, D. (2010). *Irrigation Water Management*. New Delhi: PHI Learnin.
- Margaris, N., & Mooney, H. (2013). Components of productivity of Mediterranean-climate regions Basic and applied aspects: Proceedings of the International symposium on photosynthesis, primary production and biomass utilization in Mediterranean-type ecosystems. En N. Margaris, & H. Mooney, *Components of productivity of Mediterranean-climate regions Basic and applied aspects* (págs. 71-73). New York: Springer Science & Business Media.
- Mark, W. R., Cai, X., & A. Cline, S. (2002). *World Water and Food to 2025*. Washington D.C.: Colombo, Sri Lanka.
- Mat, I., Rawidean, M., Nizar, A., & Mat, I. (2018). *Smart Agriculture Using Internet of*. Malasia: IEEE.
- Mayhua, E., Ludeña, J., Tomayo, J. C., Nuñez, Á., Gonzales, N., & Lozada, D. (2016). *Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos*. Arequipa.
- McBratnetm, A., & Pringle, M. (1999). *Precision Agriculture*. US: Springer.
- Menéndez, E. (2003). Energía y sostenibilidad: Indicencia en el medio marino. En E. Menéndez, *Energía y sostenibilidad: Indicencia en el medio marino* (págs. 21-23). Madrid: netbiblo.
- Ministerio de la Producción, G. d. (2015). Decreto Legislativo 1086: ley de promoción de la competitividad, formalización y desarrollo de la micro y pequeña empresa y del acceso al empleo decente.
- Miranda, J. (2017). Fundamentos De Medición Y Control De Procesos. En J. Miranda, *Fundamentos De Medición Y Control De Procesos* (págs. 3-6). Indiana: Palibrio.
- Misic, V., & Misic, J. (2014). *Machine-to-Machine Communications: Architectures, Technology, Standards, and Applications*. London: CRC Press.
- Mulder, K. (2010). *Desarrollo sostenible para ingenieros*. Catalunya: GreenLeaf Publishing Ltd.
- Nacho, C. (2015). Domótica para ingenieros. En C. Nacho, *Domótica para ingenieros* (pág. 349). España: Ediciones Parainfo.
- Ravazzani, G., Corbari, C., Morella, S., Gionoli, P., & Mancini, M. (2012). *Modified Hargreaves-Samani Equation for the Assessment of Reference Evapotranspiration in Alpine River Basins*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering.

- Remédios, O., Arsenio, A., & Sales, N. (2015). *Wireless Sensor and Actuator System for Smart Irrigation on the Cloud*. Milan: IEEE.
- Reyes, P. (2010). Las pymes se erigen como las principales creadoras de empleo. *Aproximáte*.
- S.A, E. (27 de Junio de 2018). *Electrosur: Iluminando el sur*. Obtenido de Electrosur: Iluminando el sur: [http://www.electrosur.com.pe/Contenido/publicaciones/PLIEGO\\_TARIFARIO\\_VIGENTE\\_ELECTROSUR.pdf](http://www.electrosur.com.pe/Contenido/publicaciones/PLIEGO_TARIFARIO_VIGENTE_ELECTROSUR.pdf)
- Sanches, M. (2012). *Gobernanza Global del Comercio en Internet*. Mexico: INAP.
- Sanchez, G. (2013). *Lyfe Style Remote*. Madrid.
- Sekharm, R., Manujunatha, S., & Sundeep, K. (2013). *Evapotranspiration Model Using AI Controller for automatic*. Bangalore: International Journal of Computer Trends and Technology.
- Sentlinger, K. (12 de Agosto de 2004). *The water Project*. Obtenido de The water Project: <https://thewaterproject.org/water-scarcity/water-scarcity-and-agriculture>
- Shirriff, k. (30 de Agosto de 2016). *Spectrum IEEE*. Obtenido de Spectrum IEEE: <https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/the-surprising-story-of-the-first-microprocessors>
- Singh, J., Pasquier, T., & Bacon, J. (23 de Julio de 2015). *Twenty Security Considerations for Cloud-Supported Internet of Things*. Obtenido de IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7165580/?arnumber=7165580>
- Solbes, & Raul. (2013). *Automatismos industriales: Conceptos y procedimientos*. Valencia: Ulzama.
- Staff, Forbes. (22 de Marzo de 2018). *forbes*. Obtenido de Padece escasez de agua más del 40% de la población mundial: <https://www.forbes.com.mx/padece-escasez-de-agua-mas-del-40-de-la-poblacion-mundial/>
- Tacna, E. (21 de Diciembre de 2018). *Trabajando para Ti, ESP*. Obtenido de Trabajando para Ti, ESP: [http://www.epstacna.com.pe/eps-pw/index.php?t=showcontent&c=c\\_tarifas&l=semifull&id\\_pmenu=20](http://www.epstacna.com.pe/eps-pw/index.php?t=showcontent&c=c_tarifas&l=semifull&id_pmenu=20)
- Trank.in. (2 de Mayo de 2017). *How IoT's Are Changing The Fundamentals Of "Retailing"*. Obtenido de trunk: <http://trak.in/tags/business/2016/08/30/internet-of-things-iot-changing-fundamentals-of-retailing/>
- Vaquero, L., Rodero, L., Caceres, J., & Lindner, M. (2009). *A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition*. Madrid: CCR.
- Váscones Cuzco, J. C., & Chamba Tenemaza, F. d. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balario*. Guayaquil.
- Villabos, F., Orgaz, F., Testi, L., & Fereres, E. (2000). *Measurement and modeling of evapotranspiration of olive*. Cordoba: European Journal of Agronomy.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: DAMLA, SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS**

## **Damla, Sistema de Internet de las Cosas**

Damla, Sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión de agua en la agricultura. Una solución integral que tiene antecedente el proyecto del Sistemas de Gestión Energética en los Pabellones “C” y “F” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.

### **1. Contexto**

En las últimas dos décadas, la información y los datos experimentaron un significativo desarrollo, especialmente gracias a las tecnologías de los sensores. Los sensores pueden proveer un flujo continuo de información sobre el medio que lo rodea, recibiendo y procesando para datos sobre una estimación o estado. Sin embargo, para poder procesar e integrar la información de un espacio sensorizado, es necesario resolver ciertos problemas que están inherentes a este tipo de tecnologías.

Internet de las cosas está caracterizado por proveer una infraestructura capaz de capturar, guardar y procesar grandes cantidades de datos provenientes del sensor. Capturar grandes tramos de información no es una tarea fácil, principalmente si vivimos con tecnologías que no están completamente estandarizados. Sin embargo, la solución tiene implícito un alto costo de las empresas propietarias. Por ello de desarrollo una plataforma el cual sea capaz de recolectar datos, gestionarlo como si fuera un montón de datos heterogéneos.

Por ello, es necesario describir como está compuesta y qué ventajas tiene la plataforma para hacer viable la implementación a escala de varios dispositivos para áreas de cultivo industriales.

### **2. Arquitectura de hardware**

En primer lugar, el servidor está alojado en la nube para términos una mejor administración remota del servidor y ahorrar en gastos administrativos, mantenimiento y tiempo.

Cada dispositivo hace una petición al servidor a través del dominio del servidor o IP, como también apuntando a puerto del servicio de IoT del servidor. Una vez conectado el dispositivo puede ser monitoreado o controlado de manera asíncrona desde la plataforma web. En caso exceso de peticiones hacia el

servidor, este a través de ELB balancea las cargas hacia el servidor, permitiendo q funcione de manera óptima.

Esta además mencionar que el proyecto de mi investigación está desplegado sobre una instancia, en la cual se ha agregado demás servicios para que nuestra aplicación funcione de manera óptima.

En las siguientes líneas de código definimos las directivas para la conexión al servidor y el puerto.

```
#ifndef THINGER_SERVER
#define THINGER_SERVER "x.x.x.x"
#endif

#ifndef THINGER_PORT
#define THINGER_PORT xxxxx
#endif
```

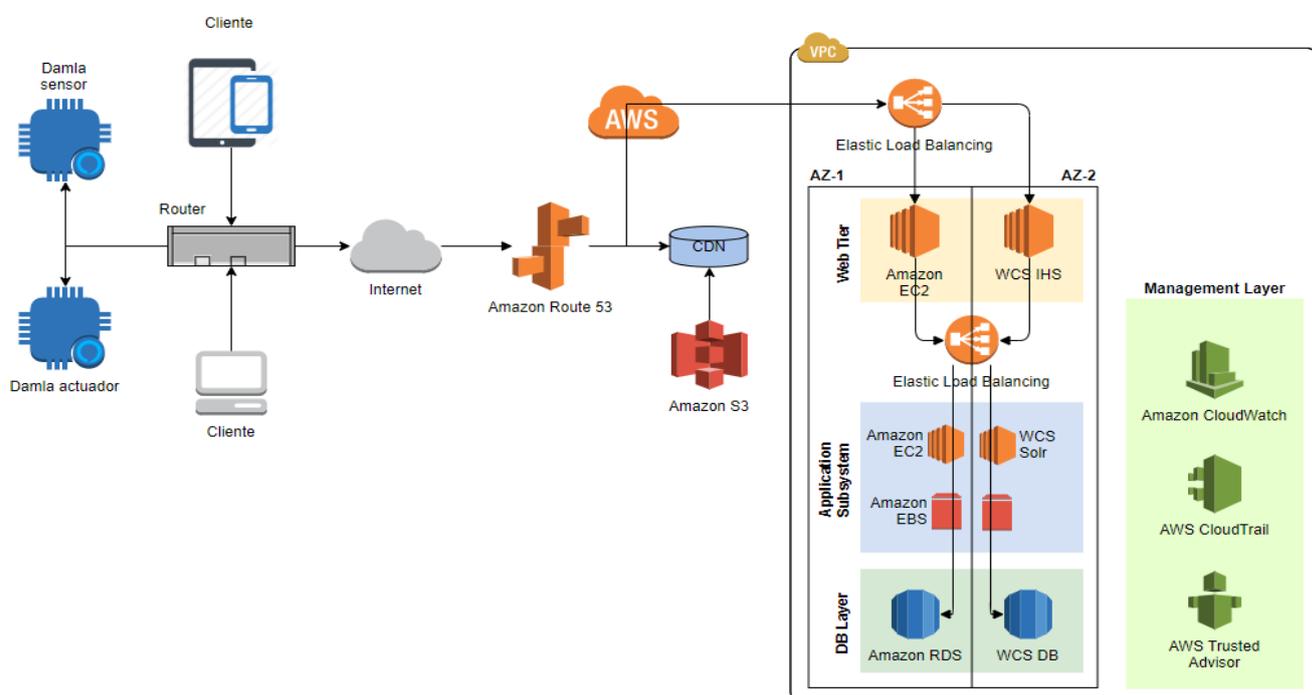


Figura 18. Arquitectura de Hardware de Damla

Fuente: Elaboración propia

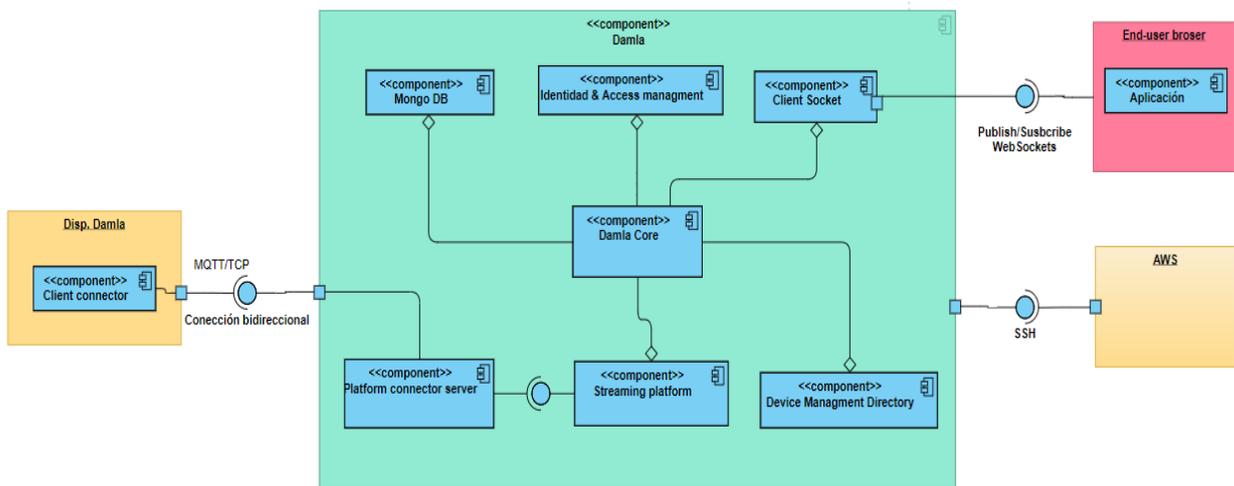


Figura 19 Diagrama de componentes.

Fuente: Elaboración propia

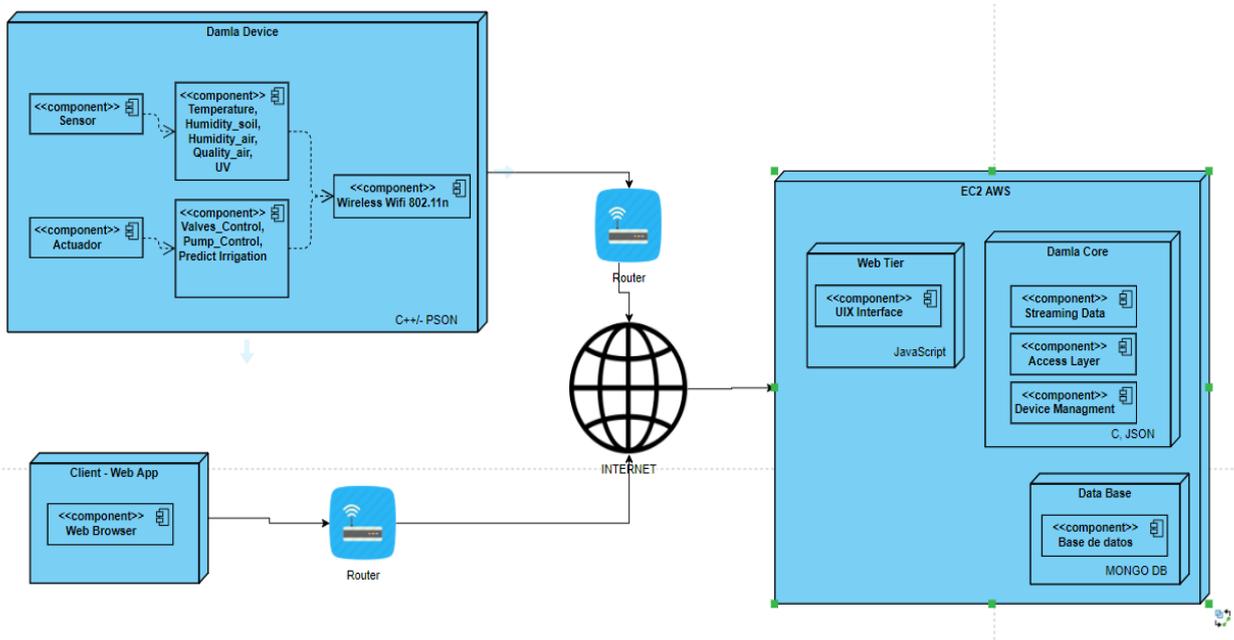
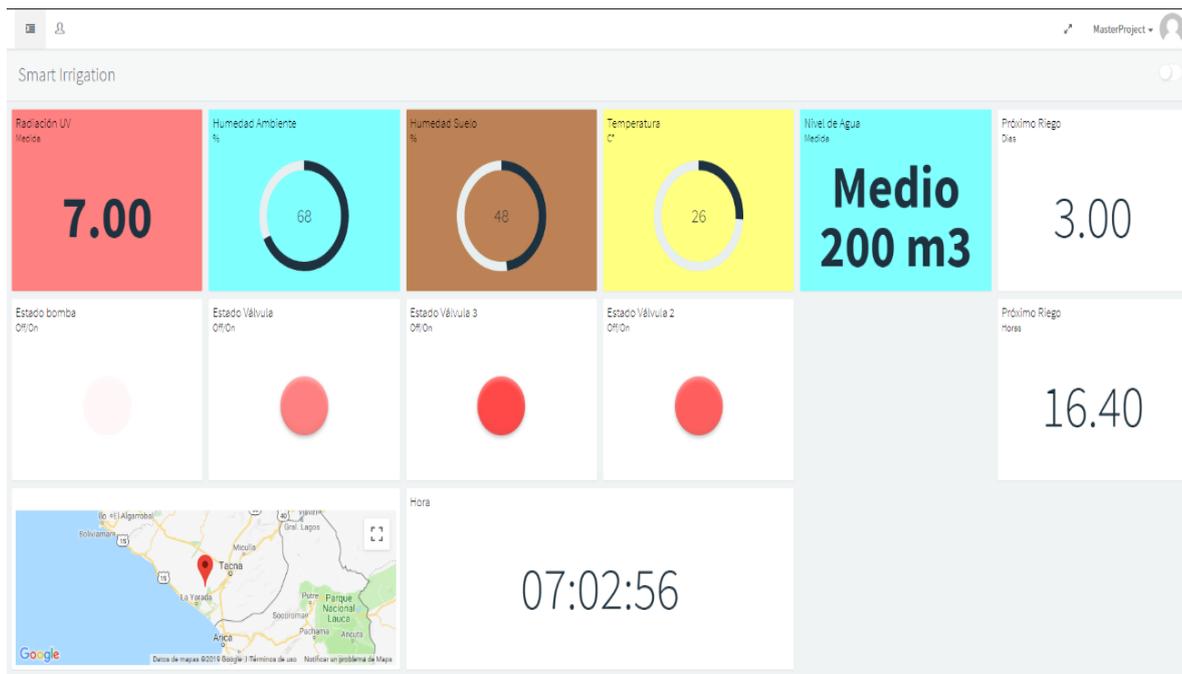


Figura 20. Diagrama de despliegue

Fuente: Elaboración propia

### 3. UIX Damla

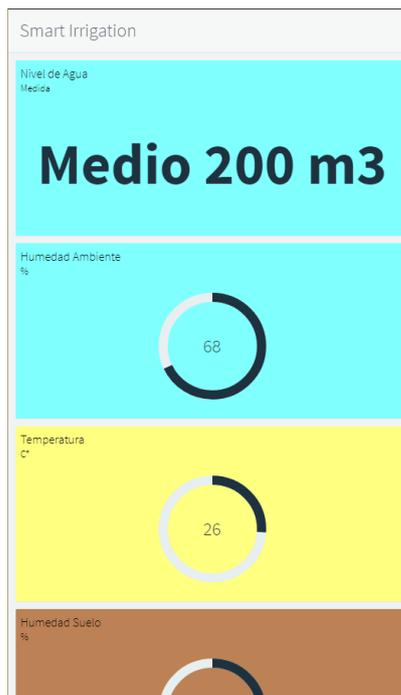


*Figura 21: Dashboard sobre datos del microclima y estado de válvulas y bomba*

*Fuente: Propia*

En la siguiente pantalla se muestra el nivel del reservorio

- El estado de los sensores
- El estado de actuadores
- Nivel de agua (Prueba /Error)
- Hora del próximo riego
- Geolocalización del dispositivo



*Figura 22: Vista Responsiva*

Fuente: Propia

#### 4. Eficiencia de transmisión

La mayoría de las plataformas de Internet de las Cosas usan protocolos tradicionales basados en HTTP o MQTT para enviar datos de un dispositivo a la nube. Pero con un enfoque HTTP, cada dispositivo que envía datos a un servidor en la nube emite una solicitud HTTP de carga útil o más conocido en inglés como payload.

En tal caso las plataformas de Internet de las Cosas están recibiendo peticiones tal cual un servidor web, y almacena la información en una base de datos. Esta forma de comunicación resulta ineficiente, en términos de ancho de banda, latencia y consumo de energía de los dispositivos inteligentes.

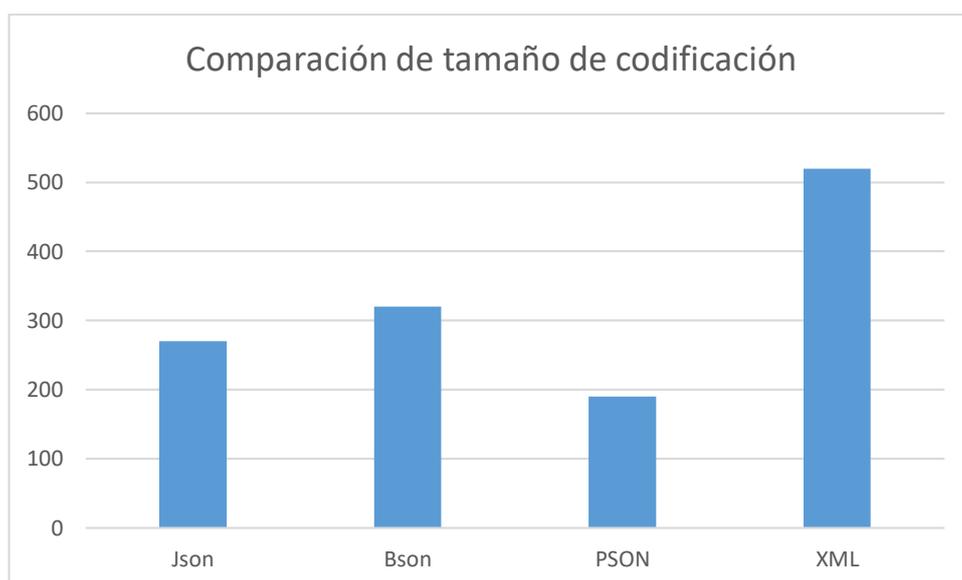
Sin embargo, existe otro protocolo basado en MQTT, este es un protocolo de telemetría diseñado hace décadas, el cual provee una comunicación bidireccional entre servidores y dispositivos inteligentes.

Por ello, se presenta una solución eficiente parecida al protocolo MQTT, se planteó utilizar filas de conexiones binarias sin la cabecera HTTP, o ser

capaz de proveer métodos publish-subscribe. Proporcionando características que no se encuentran en el protocolo MQTT. En tal sentido se usó Protoson.

Protoson fue diseñado para admitir dispositivos con recursos limitados, como memoria o potencia de procesamiento. Protoson permite codificar datos no estructurados como JSON, pero en un formato binario compactado.

*Tabla 28. Comparación de tamaño de codificación entre diferentes tecnologías de intercambio de datos*



Fuente: Elaboración propia

## 5. Comunicación bidireccional en tiempo real

Las plataformas basadas en protocolos HTTP pueden ser fácilmente desarrolladas. Sin embargo, no se llega a aprovechar un eficiente mecanismo de comunicación bidireccional. Sin embargo, Damla permite actuar sobre el dispositivo Damla de manera asíncrona con otros clientes en tiempo real.

Otra solución es usar soluciones basadas en protocolo MQTT, es decir Protoson, que también provee comunicación entre servidores y clientes. Pero el protocolo actúa sobre la capa de transporte, permitiendo comunicarse con diferentes clientes, pero no define un lenguaje para modelar la información como el protocolo basado en esta solución.

## **ANEXO 2: DISEÑO Y ENSAMBLADO DE DISPOSITIVO DAMLA**

## Diseño y ensamblado de dispositivo Damla,

### 1. Contexto

Para desarrollo de la lógica de lectura de los datos se tomó en consideración tecnologías que tienen una visión más actual sobre la Industria 4.0 e Industrial IoT. Es por ello que la lógica se basó en la programación de microcontroladores ESP-32, para ello se hizo en un lenguaje de programación en C++ y PSON

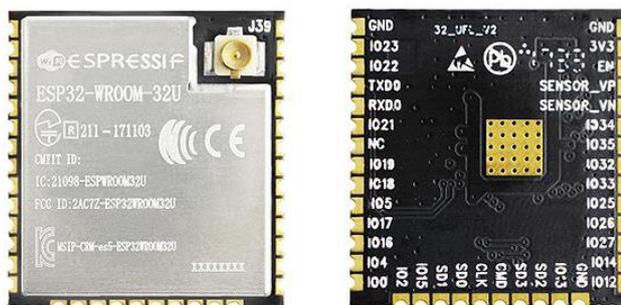


Figura 23. Microcontrolador ESP32

Fuente: Digikey Marketplace

### 2. Desafíos

La lógica de operación física se programó para que funcione en el microcontrolador que vemos en la figura anterior. Ello ya que se requirió de dispositivos que funcionen con energía renovable, por ello se optó por estos microcontroladores que pueden llevar a consumir entre 0.07 a 0.3 Amp/h y también que tienen integrada ya una tarjeta de red, funcionan con bluetooth y WiFi, también se optó por el uso de este microcontrolador por su robustez y porque es económicamente viable.

### 3. Damla Sensor y Actuador

Damla es un dispositivo electrónico inteligente el cual está compuesto en dos: Damla sensores, es quien está en medio del campo detectando la humedad relativa del aire, la humedad del suelo, la radiación UV y la calidad del aire. Toda la información recolectada es procesada para determinar luego el tiempo efectivo de riego.

La información proveída de Damla sensores enviada a nuestro servidor en la nube, desde ahí enviada a Damla actuadores, los cuales activan las válvulas de la zona que es necesario regar y luego activa la bomba de agua.

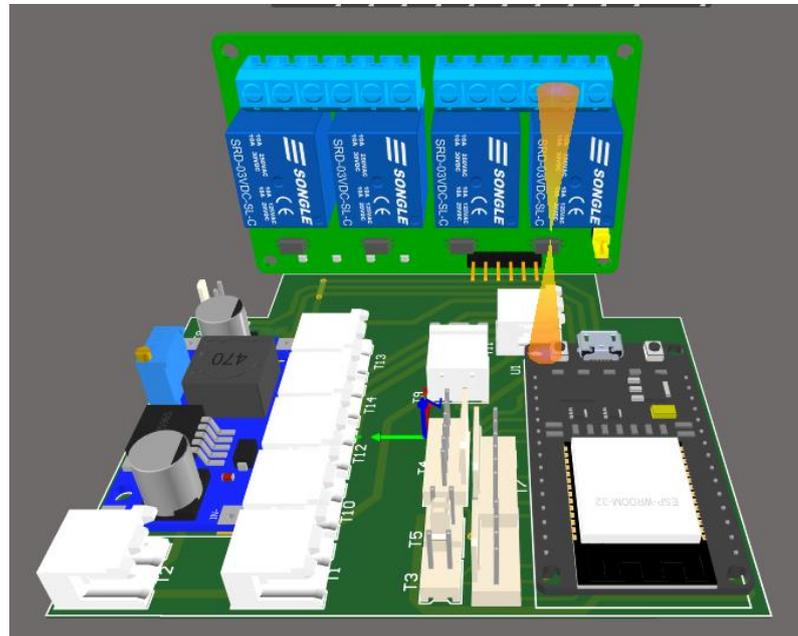


Figura 24. Diseño 3D de la placa de actuadores

Fuente: Elaboración propia

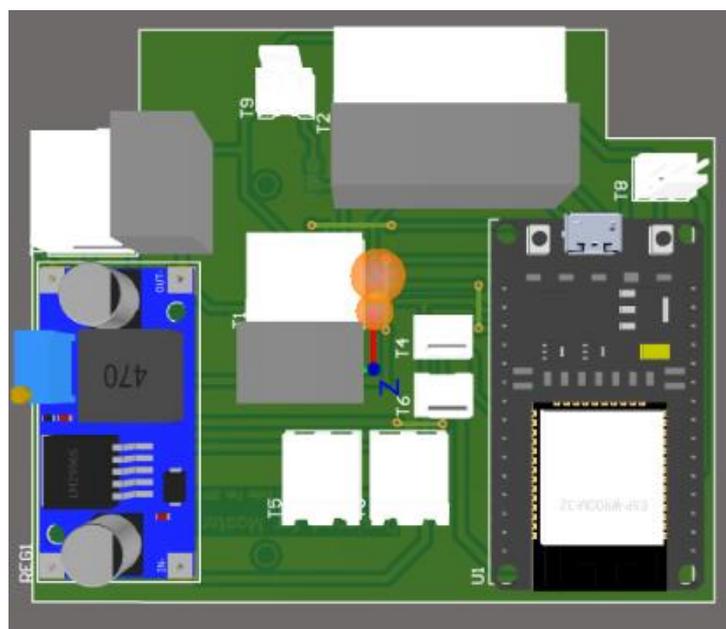
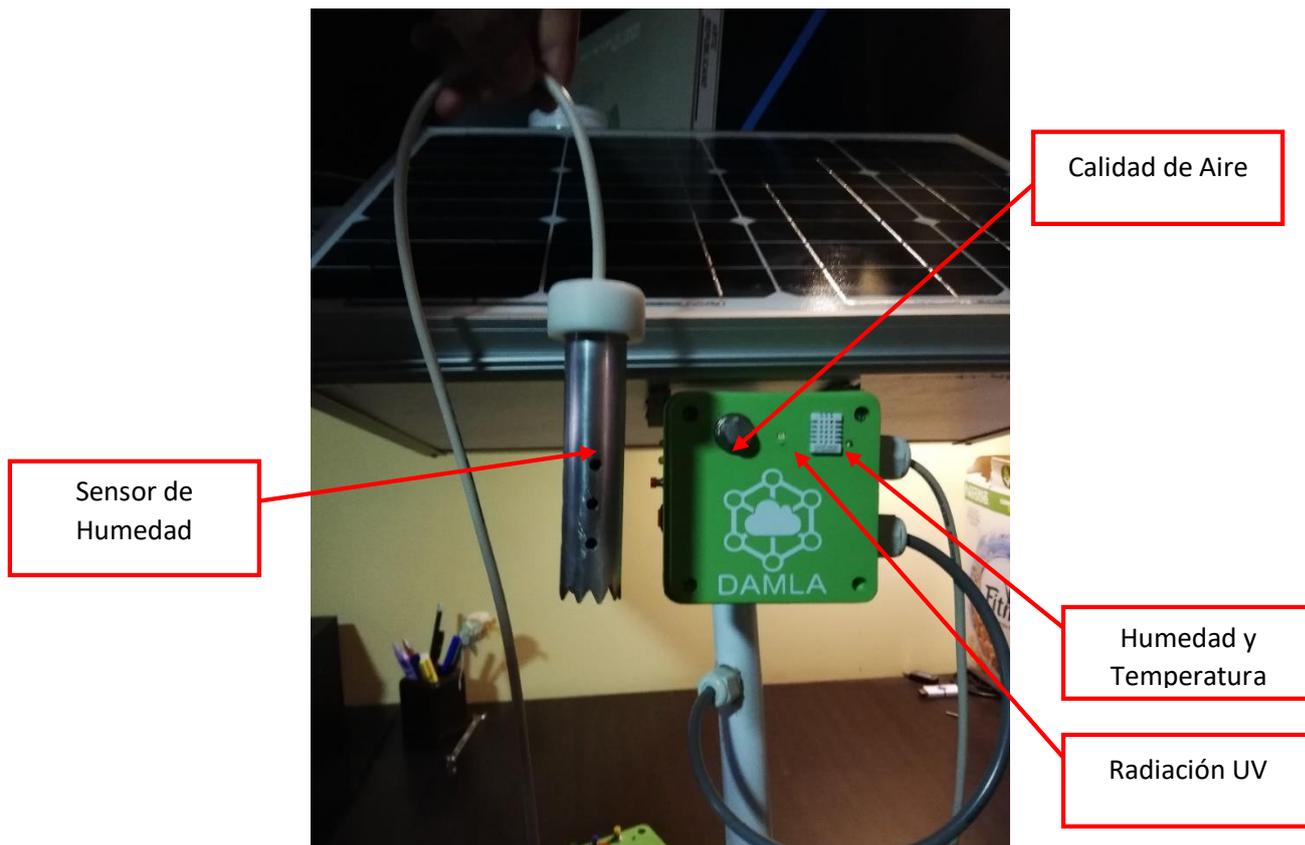


Figura 25. Diseño 3D de la placa de sensores

Fuente: Elaboración propia



*Figura 26. Prototipo funcional del dispositivo de sensores*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 27. Dispositivos Damla, Actuadores y sensores respectivamente*

*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 23, se puede observar a la izquierda el dispositivo Damla Controlador y la derecha el dispositivo Damla Sensor. El dispositivo Damla sensor funciona con energía solar.

#### 4. Diseño de la placa del circuito

Para el diseño placa se utilizó la IDE de Altium Designer

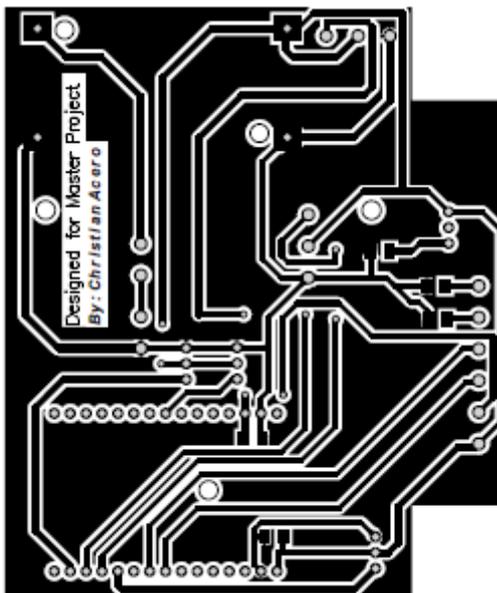


Figura 28. Diseño de la placa del circuito de Damla sensores

Fuente: Elaboración propia

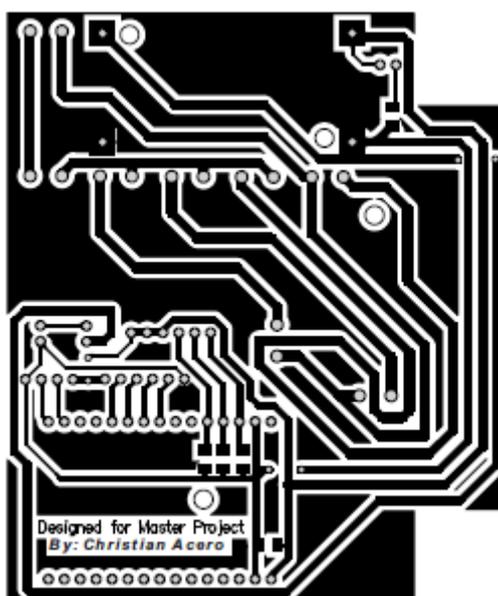
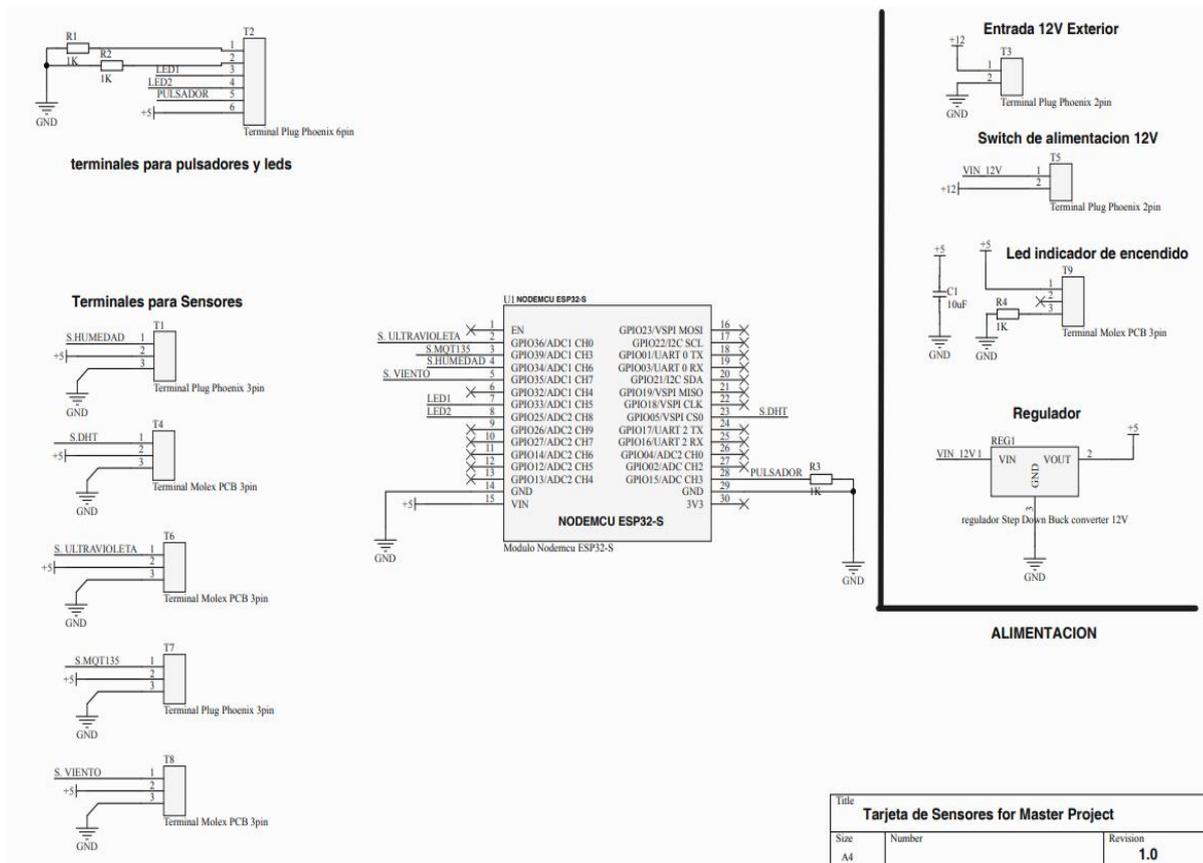


Figura 29. Diseño de la placa del circuito Damla de actuadores/relay

Fuente: Elaboración propia

### 5. Diagrama esquemático de entradas y salidas

El diagrama esquemático muestra la distribución de cada terminal que estará conectado con nuestra placa.



Title		
<b>Tarjeta de Sensores for Master Project</b>		
Size	Number	Revision
A4		<b>1.0</b>

Figura 30. Diagrama esquemático de la placa de sensores

Fuente: Elaboración propia

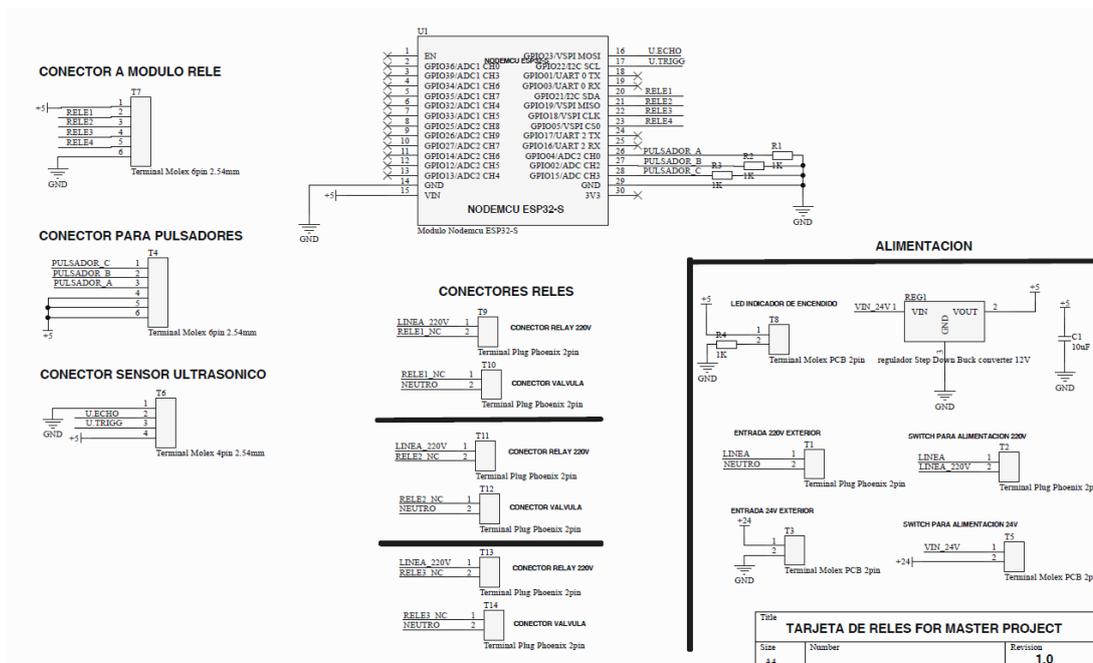


Figura 31. Diagrama esquemático de la placa de actuadores

Fuente: Elaboración propia

## 6. Costo de dispositivo

En la siguiente tabla se describe el gasto de dispositivo Damla actuadores.

Tabla 29. Costo y componentes del dispositivo Damla Actuadores

Dispositivo Damla Actuadores			
Componentes	Precio Unidades	Unidad	Costo(S/.)
<b>Microcontrolador NODE MCU ESP32</b>	32	1	32
<b>Caja PCB 10x10</b>	7	1	7
<b>Estaño</b>	2	1 metro	2
<b>Resistencia 1k</b>	0.7	20	14
<b>Capacitores</b>	1	4	4
<b>Jamper</b>	1	1 metro	1
<b>Terminal Phonex</b>	2.5	8	20
<b>Cable calibre 14</b>	1.5	2 metros	3
<b>Módulo Delay</b>	20	1	20
<b>Regulador de voltaje DC</b>	24	1	24
<b>Terminales de Cable octagonal</b>	2.5	3	7.5

<b>Pulsadores</b>	1	3	3
<b>Transformador 12 V 5A.</b>	34	1	34
	<b>Costo Total</b>		<b>171.5</b>

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 30. Costo y componentes del dispositivo Damla sensores*

<b>Dispositivo Damla Sensores</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Precio Unidades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo(S./.)</b>
<b>Microcontrolador NODE MCU ESP32</b>	32	1	32
<b>Sensor DHT22</b>	25	1	25
<b>Sensor Capacitivo de Humedad</b>	30	1	30
<b>Sensor UV</b>	25	1	25
<b>Sensor MQ-135</b>	20	1	20
<b>Terminales Phoenix</b>	2.5	5	12.5
<b>Terminales Molex</b>	0.5	5	2.5
<b>Resistencia 1k</b>	0.7	4	2.8
<b>Capacitadores</b>	1	5	5
<b>Jampers</b>	1	1 metro	1
<b>Cable calibre 16</b>	2	2 metros	4
<b>Batería seca 12v 6A</b>	60	1	60
<b>Panel solar 18.V</b>	130	1	130
<b>Controlador de carga 24v a 12 V</b>	84	1	84
<b>Pulsadores</b>	2	4	8
<b>Estaño</b>	2	1 metro	2
<b>Caja PBC 10x10</b>	7	1	7
	<b>Costo total</b>		<b>450.8</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### **ANEXO 3: ÁREA DEL CULTIVO**

## Área de cultivo

### 1. Elección

De acuerdo a la necesidad de ahorrar agua y mejorar el cultivo del Olivo en la Yarada-Los Palos, se preguntó a diferentes agricultores si podrían ayudar a encontrar una solución para los problemas del agua. Así encontramos al Sr. Y la Sra. Castro, que me facilitaron el acceso y control de una de las diferentes áreas de cultivo que poseen.



*Figura 32. Área del terreno de cultivo.*

*Fuente: Google Maps*



*Figura 33. Vista amplia del terreno de cultivo*

*Fuente: Google Maps*

El área total de la parcela que me ha sido prestada es de 3535 m<sup>2</sup>

**Ubicación geográfica:**

Latitud: -18.146421

Longitud: -70.467692

**Propietarios:**

*Nombres y apellidos* Sr. Santos Castro Vargas

*Nombres y apellidos* Sra. Marta Sucso Alferez



*Figura 34. Reservorio*

*Fuente: Elaboración propia*

Reservorio de  $600 \text{ m}^3$ , el cual le da un abasto de 600000 litros de agua el riego  $3535 \text{ m}^2$  de plantaciones de Olivo. Cada semana hay una estación de bomba para extraer el agua de un acuífero, el cual sirve para atender el reservorio de diferentes agricultores de la zona.



*Figura 35. Tubería de succión*

*Fuente: Elaboración propia*

El diámetro de la tubería de succiones es de 2", la tubería ingresa hasta el cuarto de control donde se encuentran las bombas y está aislado y protegido contra terceras personas.



*Figura 36. Riego tecnificado por goteo*

*Fuente: Elaboración propia*

El área del cultivo ya se encuentra tecnificado, el método de riego es por goteo, su eficiencia de riego de dicho método es de hasta 95%. Las tuberías utilizadas son de 3/8”.



*Figura 37. Tubería principal para el riego, una troncal de 2"*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 38. Controlador de riego por temporizador*

*Fuente: Elaboración propia*

Galcon, es un controlador de riego por temporizadores, es decir el usuario tiene que programar el tiempo en que se preñe y se activa la bomba. Tal cual un despertador.



*Figura 39. Bomba de cuarto de control*

*Fuente: Elaboración propia*

El dueño de cultivo compro una bomba centrífuga de impulsión de 5 HP, trifásico. Succión de 350 l/min por recomendación de la empresa que le hizo la instalación, el cual funciona de manera óptima.

## **ANEXO 4: INSTALACIÓN**

## Instalación

### 1. Instalación

Para hacer las pruebas se instaló el dispositivo aproximadamente a unos 50 metros del cuarto del control. Ubicado el lugar debemos cavar un agujero que donde el follaje de la planta no haga sombra con nuevo dispositivo.



*Figura 40. Instalación, excavado*

*Fuente: Elaboración propia*

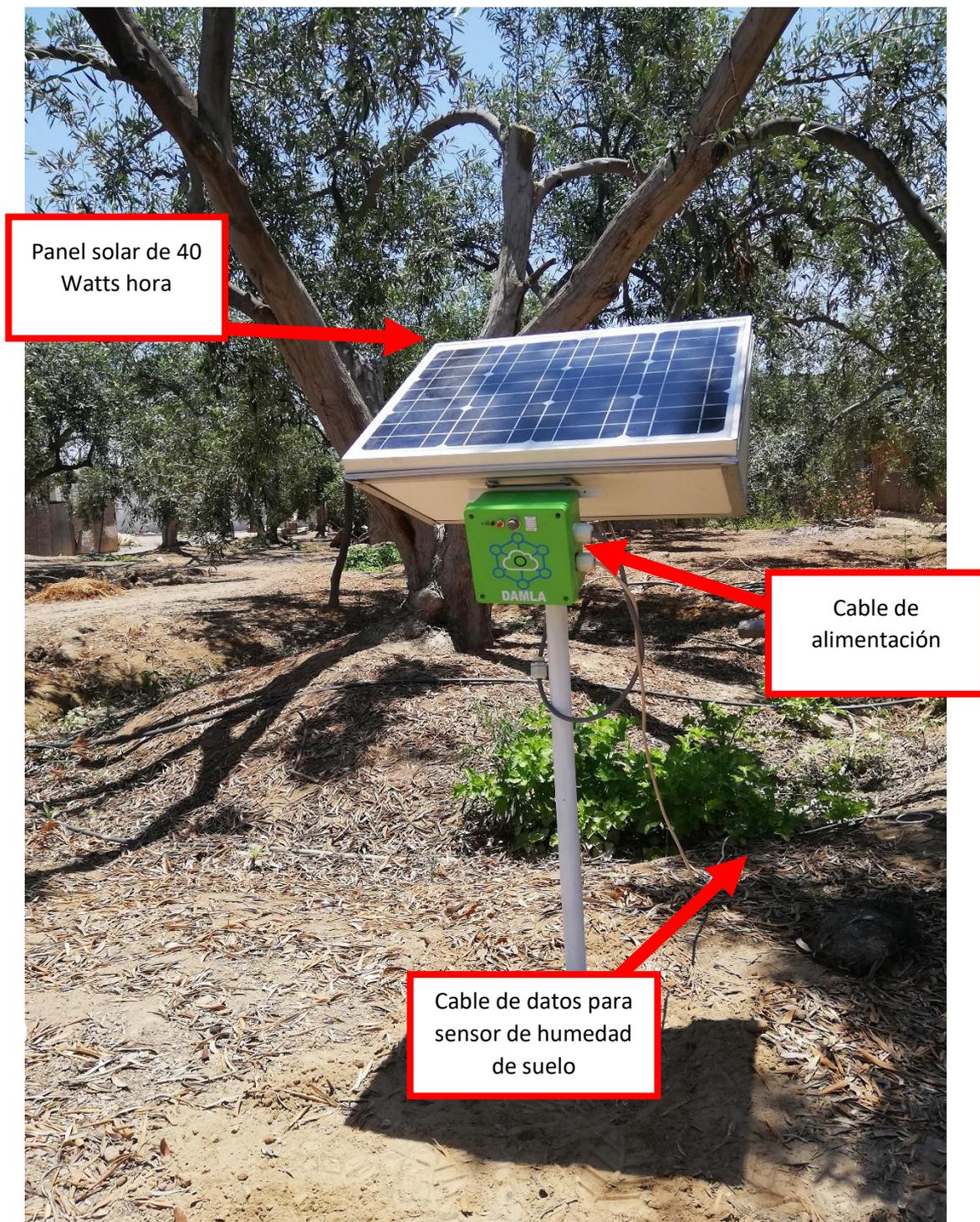
El agujero tiene que tener una profundidad entre 30 y 40 cm. Para que el dispositivo Damla Sensores este bien asegurado y firme ante las perturbaciones del medio ambiente.



*Figura 41. Instalación: Puesta*

*Fuente: Elaboración propia*

*Una vez colocado el dispositivo debajo de la tierra, enterramos el dispositivo con la misma arena que hemos escarbado.*



*Figura 42. Dispositivo Damla Sensores instalado*

*Fuente: Elaboración propia*

Como podemos apreciar, el dispositivo está a unos metros de un árbol de olivo, lo importante es que es que el follaje no cubra por completo el dispositivo, así pueda recargar la batería que su óptima operación.



Sensor de  
humedad de  
suelo

*Figura 43. Posicionar el sensor de humedad de suelo*

*Fuente: Elaboración propia*

Para posicionar el dispositivo primero darnos cuenta q el dispositivo no está dañado y ajustar bien la rosta que sujeta el cable de color blanco.



*Figura 44. Excavación para sensor de humedad de suelo*

*Fuente: Elaboración propia*

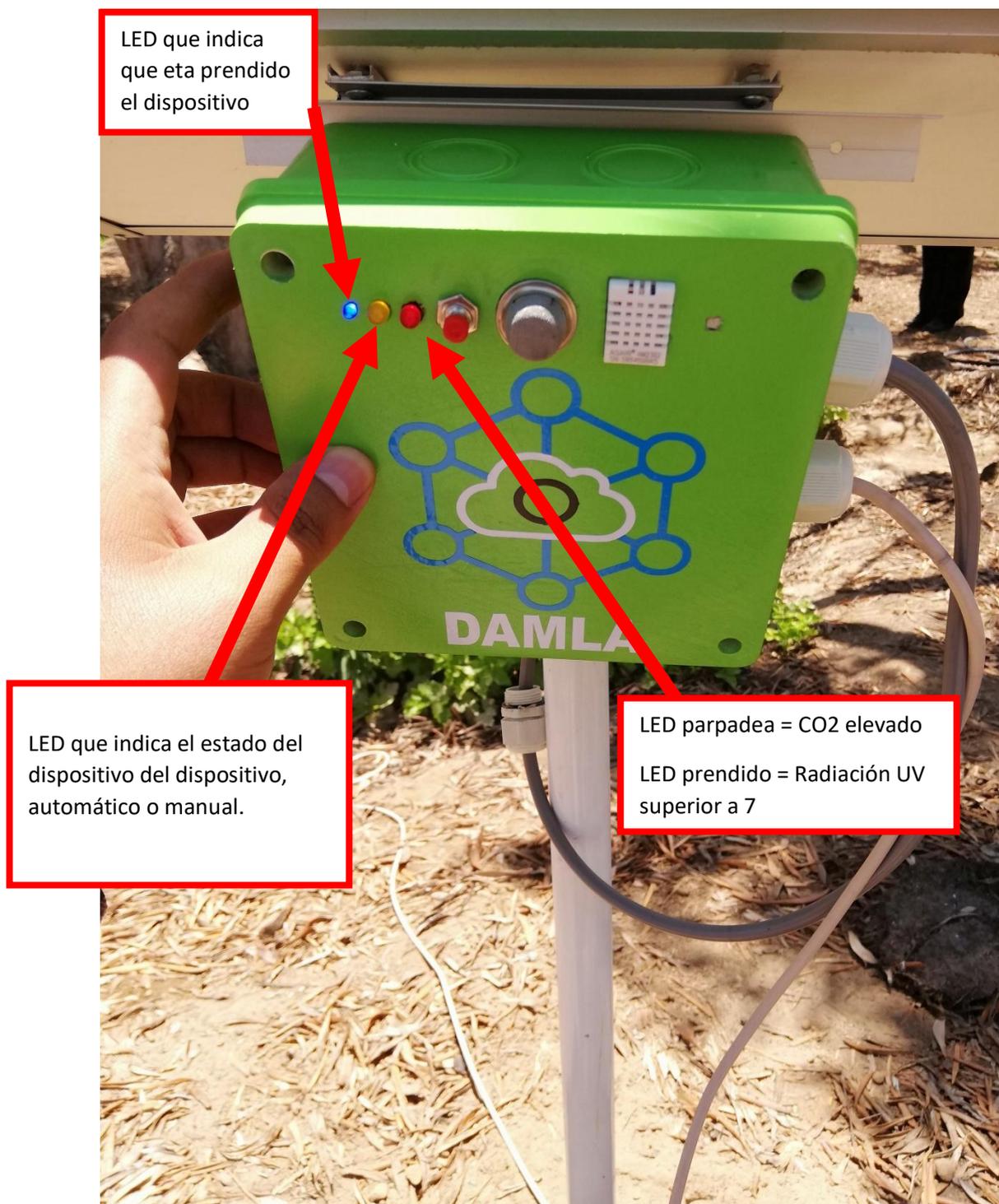
*Hacemos un agujero de entre 15 y 20 centímetros y luego enterramos el dispositivo, con la finalidad de dar lectura o medir la humedad del suelo.*



*Figura 45: Instalación de sensor de humedad de suelo.*

*Fuente: Elaboración propia*

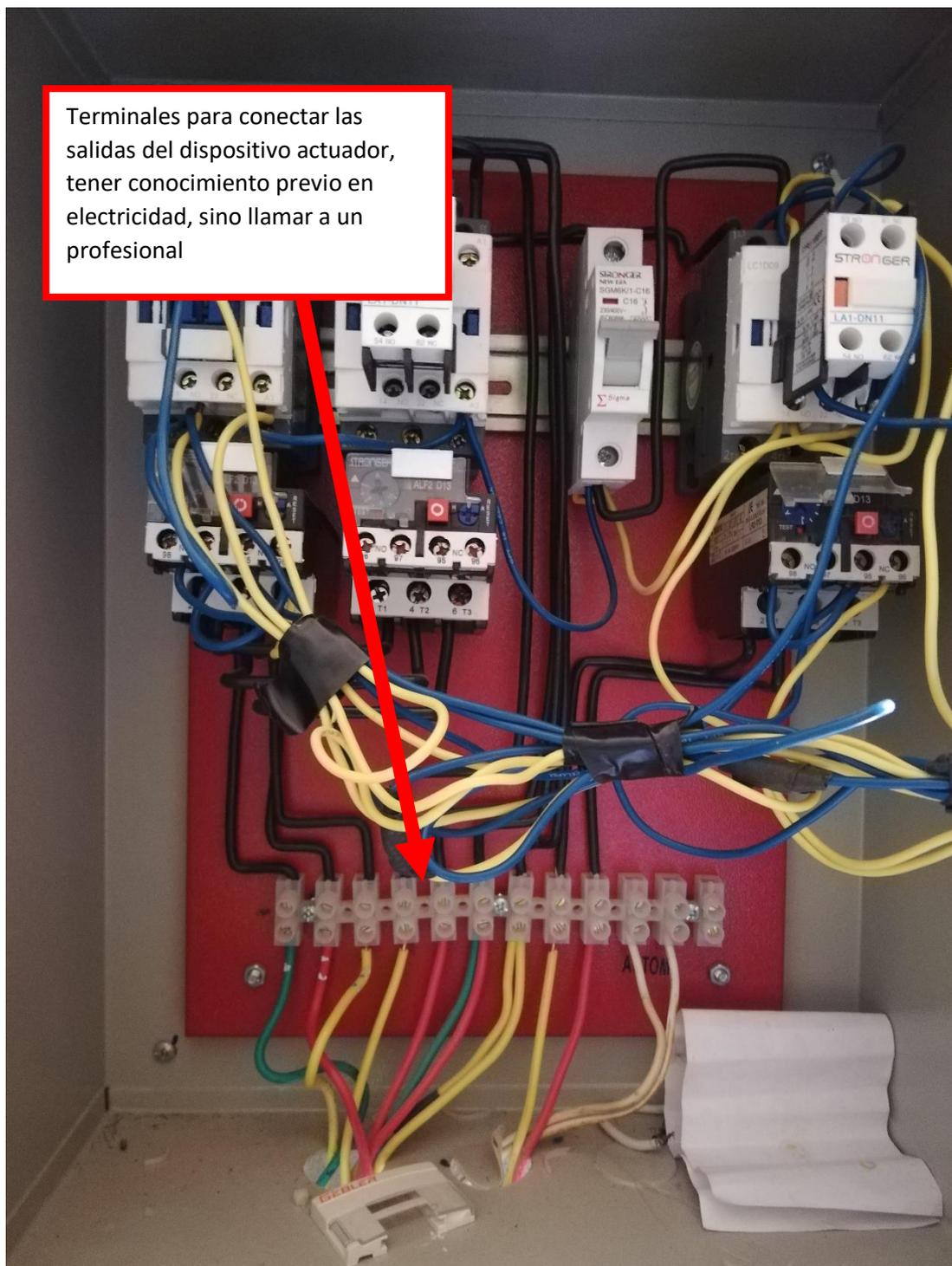
Enterramos el sensor el sensor asegurándonos que no haya mucha acumulación de piedras a su alrededor.



*Figura 46. Puesta en marcha, Damla Sensores*

*Fuente: Elaboración propia*

Ponemos en marcha el sistema y empieza a capturar los datos del microclima. Para ello hay un botón en la parte izquierda del dispositivo. Y sus respectivos LEDS indicadores



*Figura 47. Tablero de control de bomba y válvulas.*

*Fuente: Elaboración propia*

El cuarto de control opera solo con un tablero de control, en el cual se observan los contactores, cabe mencionar que funciona con energía trifásica.

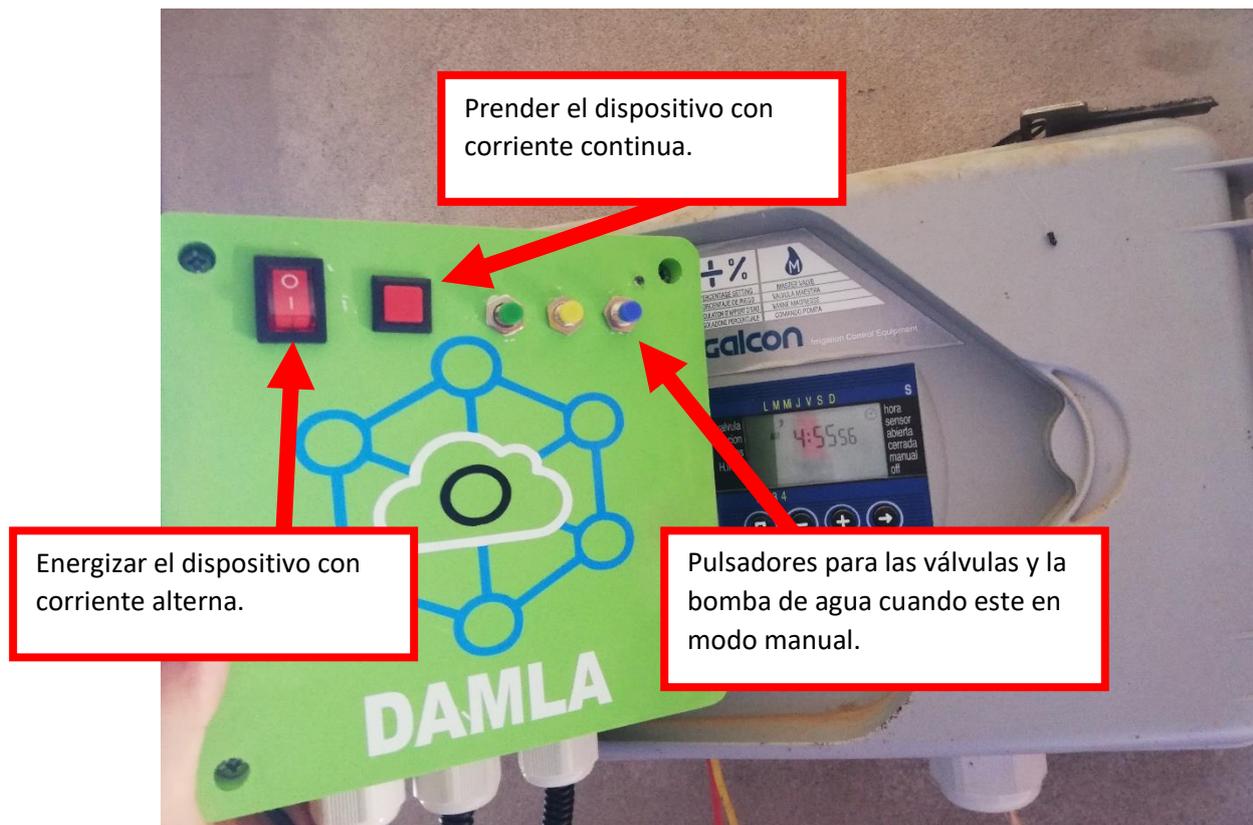


Figura 48. Instalación de Damla Contactores/Actuadores

Fuente: Elaboración propia

Comparación de tamaño entre el dispositivo Damla y el sistema de riego por temporizadores.



*Figura 49. Puesta en marcha Damla Contactores/Actuadores*

*Fuente: Elaboración propia*

Conectamos las salidas de Damla hacia el tablero de control, ahora el cerebro del proceso es Damla, el cual hace el proceso de riego de manera autónoma, de acuerdo a los datos que manda Damla Sensores.

**ANEXO 6: MANUAL DE USUARIO**

## INTRODUCCIÓN

Una herramienta de monitoreo y control es aquella que permite al usuario ver los datos históricos de diferentes elementos conectados a través de un interfaz alámbrica o inalámbrica.

Damla operativa con dispositivos inteligentes denominados, Damla Sensor y Damla Actuador. Ambos dispositivos se conectan a una red de manera inalámbrica y a través de internet pueden ser monitoreados y controlados desde cualquier parte del mundo.

Antes de iniciar, debemos saber que es un dashboard. es una interfaz gráfica de usuario que permite mostrar su información en diferentes figuras y gráficos. Un dashboard también puede mostrar información en tiempo real desde los dispositivos Damla, usando websockets a través de un servidor en la nube para así garantizar al usuario una demora mínima al momento de controlar o monitorear un elemento.

**INDICE DE MANUAL**

1. Acceso .....	115
2. Vista general .....	116
3. Modo de operación .....	117
4. Elementos de control .....	118
5. Elementos de supervisión o monitoreo .....	119
5.1. Geolocalización.....	120
5.2. Temperatura ambiente.....	120
5.3. Humedad del suelo .....	121
5.4. Humedad ambiente.....	122
5.5. Nivel de CO2.....	122
5.6. Nivel de radiación .....	123
5.7. Histórica humedad de suelo .....	123
6. Desconexión.....	124

## 1. Acceso

El acceso para usuario será independiente debido a que cada terreno de cultivo tiene diferentes necesidades en cuanto a la cantidad de sensores utilizados y también la cantidad de actuadores como motores y válvulas.

Para el siguiente caso, el usuario acceso a través de un código QR de su dashboard personal, cabe mencionar que se está implementando el acceso al dashboard. Para más información acerca de los avances que se hacen visitar [www.masterprojectperu.com](http://www.masterprojectperu.com)



Nota: se recomienda no compartir con nadie el código QR.

2. Vista general

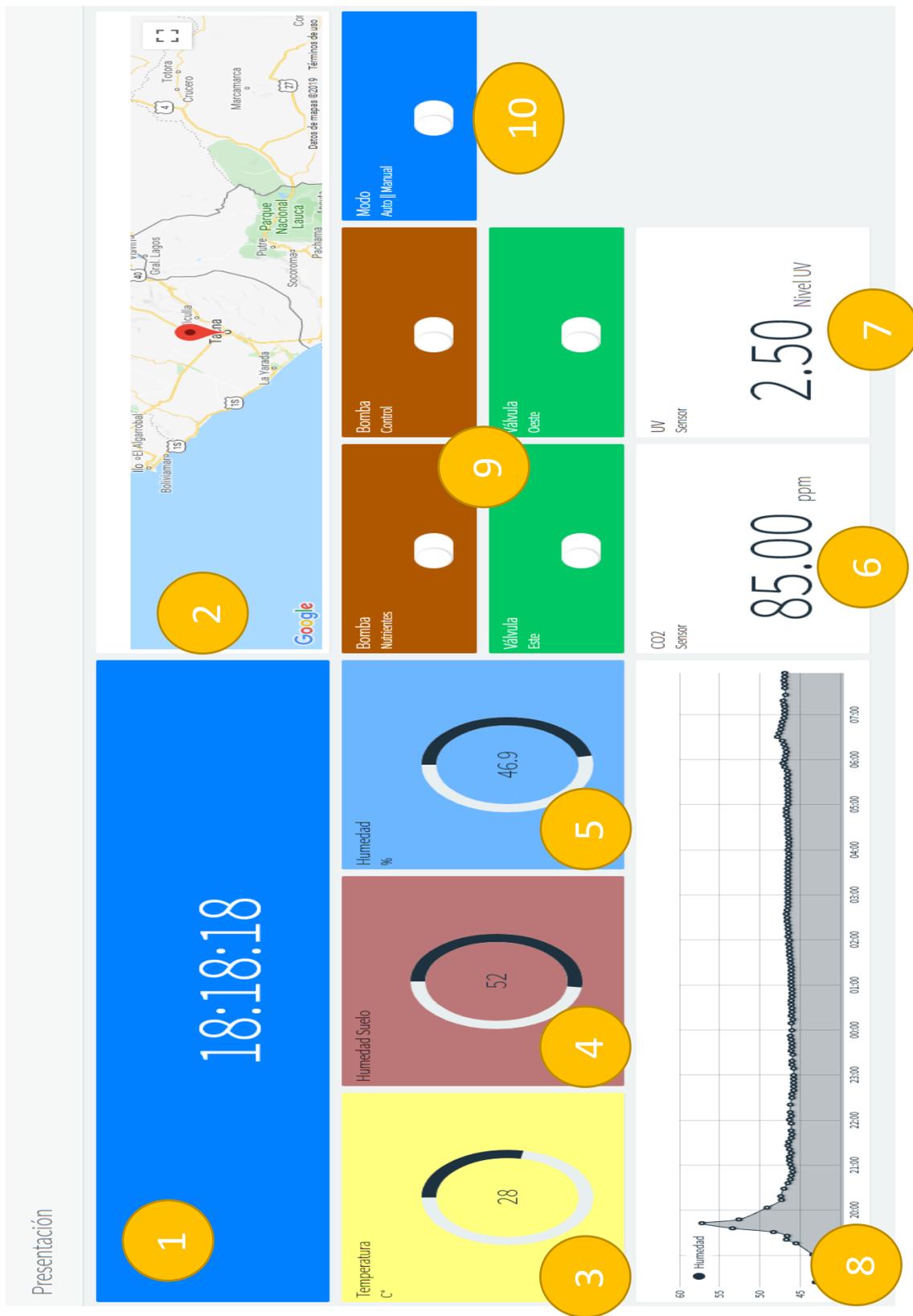


Figura 50. Dashboard de control y monitoreo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Indicadores de dashboard de control y supervisión

Indicadores de Dashboard de control y supervisión			
Valor	Nombre	Niveles	Unidad
1	Hora	-	-
2	Geolocalización del dispositivo	-	
3	Lectura de la temperatura ambiente	-24    80	Celsius
4	Lectura de la humedad del suelo	0-100	%
5	Lectura de la humedad relativa del ambiente	0-100	%
6	Lectura de nivel de CO2	0-1000	ppm
7	Lectura del nivel de radiación	0-10	UV
8	Tendencia histórica de la humedad	0-100	-
9	Estados de las válvulas y las bombas	Discreto	-
10	Cambiar el modo	Discreto	-

Fuente: Elaboración propia

### 3. Modo de operación

El modo de operación, el cual se ubica en el ítem 10 del capítulo anterior es importante, ya que si el switch está apagada o esta como se muestra en la imagen, quiere decir que el modo esta en automático, es decir el sistema de internet de las cosas, Damla, está determinando cuando regar.

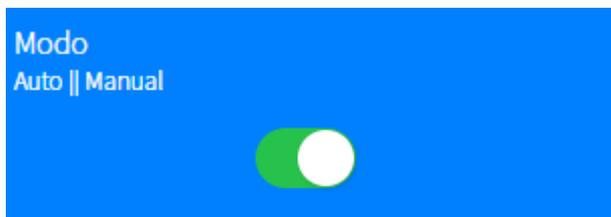


Como se observa en la imagen, debajo de la etiqueta Modo, se observa en la parte inferior "Auto || Manual", eso quiere decir que el switch o toggle está hacia la izquierda el modo de operación será automático, caso contrario será manual:

- **Modo Automático:** El sistema determina cuando inicia el próximo riego del cultivo. El mismo sistema activa la bomba de agua y válvula necesaria para el

riego, al momento de terminar apaga la bomba o válvula que se haya activado y sigue leyendo los datos del microclima a través del dispositivo Damla Sensor.

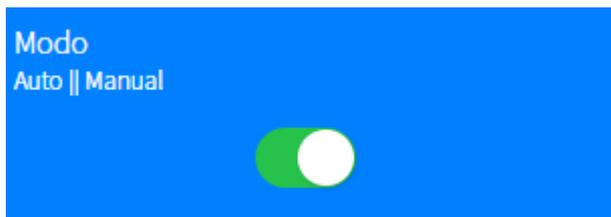
- **Modo Manual:** En el modo manual, el usuario toma las decisiones sobre cuando regar a través de los elementos de control que se especifican más adelante.



#### 4. Elementos de control

Los elementos de control son aquellos los que se van a poder controlar tales como las válvulas y las bombas de agua. De esta manera el agricultor podrá tomar las decisiones de manera remota.

Para ellos el usuario deberá activar el modo de operación en manual



*Modo Automático*

Una vez que el modo de operación sea manual usted recién podrá controlar los estados de las bombas de agua y válvulas, caso contrario Ud. no podrá controlar ni un elemento de control.

Los elementos de control se encuentran ubicados en el ítem 10 del capítulo anterior y están conformados por:

- Bomba de control: Utilizada para el riego del cultivo
- Bomba de nutrientes: Utilizada para ingresar los nutrientes a la troncal de riego.
- Válvula Este: Válvula ubicada en el lado este de la parcela.
- Válvula Oeste: Válvula ubicada en el lado oeste de la parcela.

Como se observa en la siguiente imagen, las bombas están identificada con un color café y las válvulas con un color verde.



*Elementos de control*

Se igual manera los elementos de control como las válvulas y bombas están en encendido cuando Ud. Pulsa sobre el switch o toggle de la pantalla de supervisión.



Sabemos que está prendido cuando el switch se desliza a la derecha y su fondo cambie de color.

## 5. Elementos de supervisión o monitoreo

El elemento de supervisión está compuesto por todos los gráficos de nuestro Dashboard, tales como la lectura del sensor de humedad del suelo, humedad del aire, temperatura ambiente, radiación, calidad de aire (sensor de bióxido de carbono) y la geolocalización del dispositivo.

A continuación, se explicará la descripción de cada elemento de supervisión.

### 5.1. Geolocalización

La geolocalización está cada por la ubicación geográfica dónde el dispositivo está conectado. De esta manera, en caso el usuario tuviera una cantidad excesiva de dispositivos, él puede encontrarlo con mayor facilidad. La ubicación de los datos es en el ítem 2 del capítulo de vista general.

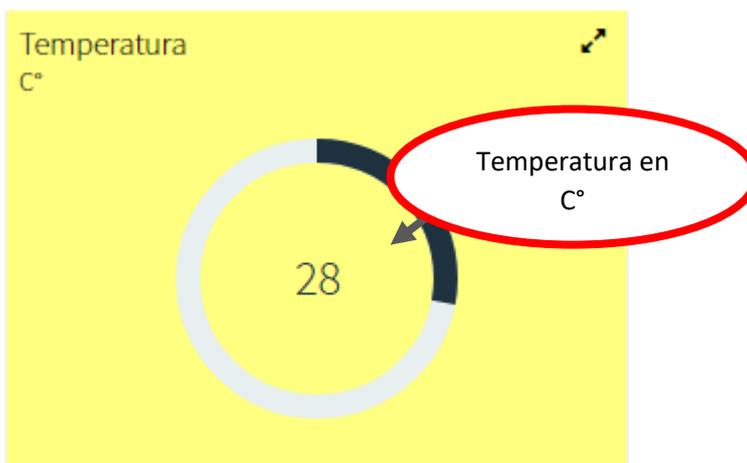


Localización de dispositivo Damla

### 5.2. Temperatura ambiente

La temperatura está ubicada en el ítem 3 de la sección de Vista General. Ud. Pobra visualizar los datos de la temperatura ambiente que está siendo medida a través del dispositivo Damla Sensor, el cual tiene un rango de medición desde los -24 hasta los 80 grados Celsius.

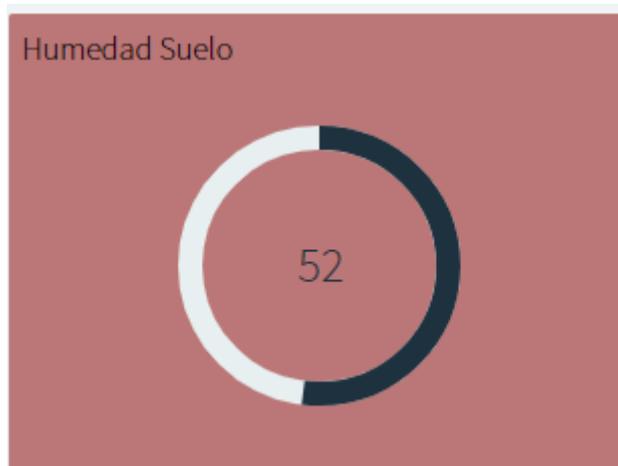
Los datos presentados en el dashboard pueden servir como para que el agricultor determine condiciones del estado del cultivo, pero principalmente sirve que el el dispositivo tome decisiones del próximo riego que se hará cuando el modo de operación sea automático



Temperatura ambiente

### 5.3. Humedad del suelo

La humedad del suelo está ubicada en el ítem 4 de la sección de Vista General La humedad del suelo es medida a través del dispositivo Damla Sensor, el cual tiene un rango de trabajo de 0 a 100 %. De igual manera los datos registrados sirven para determinar el tiempo efectivo de riego.



Humedad de Suelo



Nivel alto de humedad

En caso vea un nivel alto de la humedad es un factor que le está indicando a Ud. Cuando el cultivo está siendo regado.

#### 5.4. Humedad ambiente

La humedad del ambiente está ubicada en el ítem 5 de la sección de Vista General. La humedad relativa o del ambiente es medida a través del dispositivo Damla Sensor, el cual tiene un rango de trabajo de 0 a 100 %. De igual manera los datos registrados sirven para determinar el tiempo efectivo de riego cuando el modo de operación sea automático.

Niveles altos de humedad indican un nivel alto de evapotranspiración, datos que pueden ser utilizados por profesionales de la agricultura.



Humedad relativa de aire

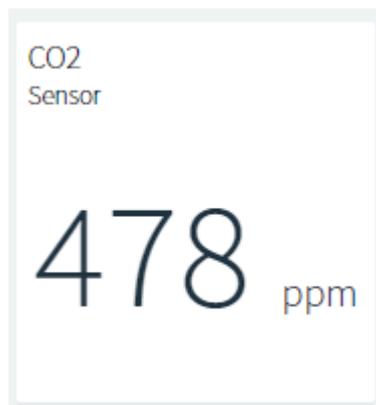
#### 5.5. Nivel de CO2

El bióxido de carbono o CO2 del ambiente está ubicada en el ítem 6 de la sección de Vista General. El nivel de bióxido de carbono o CO2 es medida a través del dispositivo Damla Sensor, el cual tiene un rango de trabajo de 0 a 1000 ppm (partes por millón). Cuando el usuario vea un nivel superior a los 450 ppm, es un indicio de que hay un incendio por donde está instalado el dispositivo Damla Sensor.

CO2  
Sensor

85.00 ppm

## CO2 ambiente



Nivel alto de CO2 en el ambiente, indicador de posible incendio.

### 5.6. Nivel de radiación

El nivel de radiación UV del ambiente está ubicada en el ítem 7 de la sección de Vista General. La radiación del ambiente es medida a través del dispositivo Damla Sensor, el cual tiene un rango de trabajo de 0 a 10. De igual manera los datos registrados sirven para determinar el tiempo efectivo de riego. Cuando el valor sea mayor a 7 tenga cuidado y use protector solar, así prevenir cáncer de piel.

UV  
Sensor

2.50 Nivel UV

Nivel alto de CO2 en el ambiente

### 5.7. Histórica humedad de suelo

La tendencia historia de la humedad del suelo está ubicada en el ítem 8 de la sección de Vista General El grafico histórico determina el nivel de humedad de suelo, los datos pueden servir para determinar cuándo fue regado el cultivo, ya que los índices altos de humedad indica presencia de agua en el ambiente.



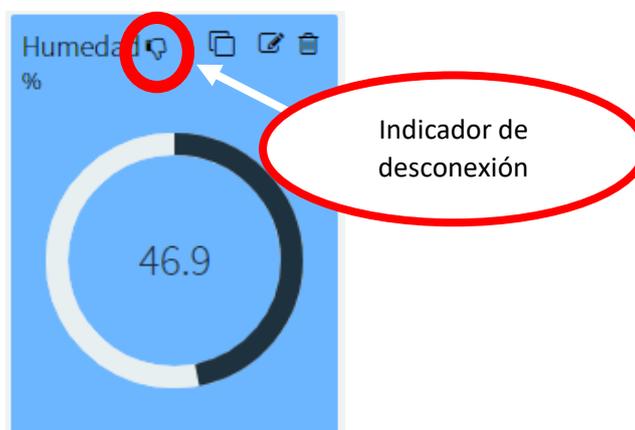
Tendencia de la humedad

**6. Desconexión**

En caso se visualice el símbolo marcado en la siguiente imagen en cualquier indicador de sensores o switches de control, tiene que supervisar el equipo o ver si tiene conexión a internet, ya que el dedo pulgar hacia abajo significa el dispositivo se desconectó del servidor. Si no está seguro que hacer, contáctese con proveedor del servicio.



Indicador de desconexión de dispositivo



## **ANEXO 7: COSTO DE INVESTIGACIÓN**

## Costos

### 1. Costo de la investigación

Las estimaciones del costo se hicieron en base a las herramientas utilizadas durante casi un año, debido a que no se ha realizado la investigación a tiempo completo no he considerado mi tiempo como un recurso económico adicional.

Tabla 32. Costo de la investigación

<b>Costo total del proyecto Damla</b>			
<b>Tecnológico</b>			
<b>Item</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio (S/.)</b>
<b>Dispositivo Damla Contactores</b>	171.5	2	343
<b>Dispositivo Damla Sensores</b>	450.8	2	901.6
<b>Hosting</b>	99	9 meses	891
<b>Servidor en la nube y servicios</b>	69	9 meses	621
<b>Licencia de software de diseño electrónico</b>	64	1	64
			<b>Subtotal 2820.6</b>
<b>Oficina</b>			
<b>Item</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Unidades/Mes</b>	<b>Precio (S/.)</b>
<b>Papel</b>	10	6 paquetes	60
<b>Lapiceros</b>	4	4	16
<b>Computadora</b>	200	9 meses	1800
<b>Internet</b>	99	9 meses	891
<b>Teléfono</b>	99	9 meses	891
			<b>Subtotal 3658</b>
<b>Administrativo</b>			
<b>Item</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Unidades/Mes</b>	<b>Precio (S/.)</b>
<b>Viajes</b>	400	9	3600
<b>Asesoría externa</b>	0	0	0
<b>Instalación</b>	200	1	200
			<b>Subtotal 3800</b>
			<b>Total 10278.6</b>

Fuente: Elaboración propia

Se gastó un total de S/.10278.6 soles, diez mil doscientos setenta y 8 con 6 centavos para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

**ANEXO 6: DATASHEETS DE SENSORES Y MICROCONTROLADOR**

## DATASHEET

### 1. Sensor de Humedad y temperatura ambiente DHT22

#### 1.1. Descripción

El sensor DHT22 te permite monitorear temperatura y humedad relativa de forma precisa y sencilla a un bajo precio. La salida suministrada es de tipo digital, no requiriéndose utilizar entradas analógicas.

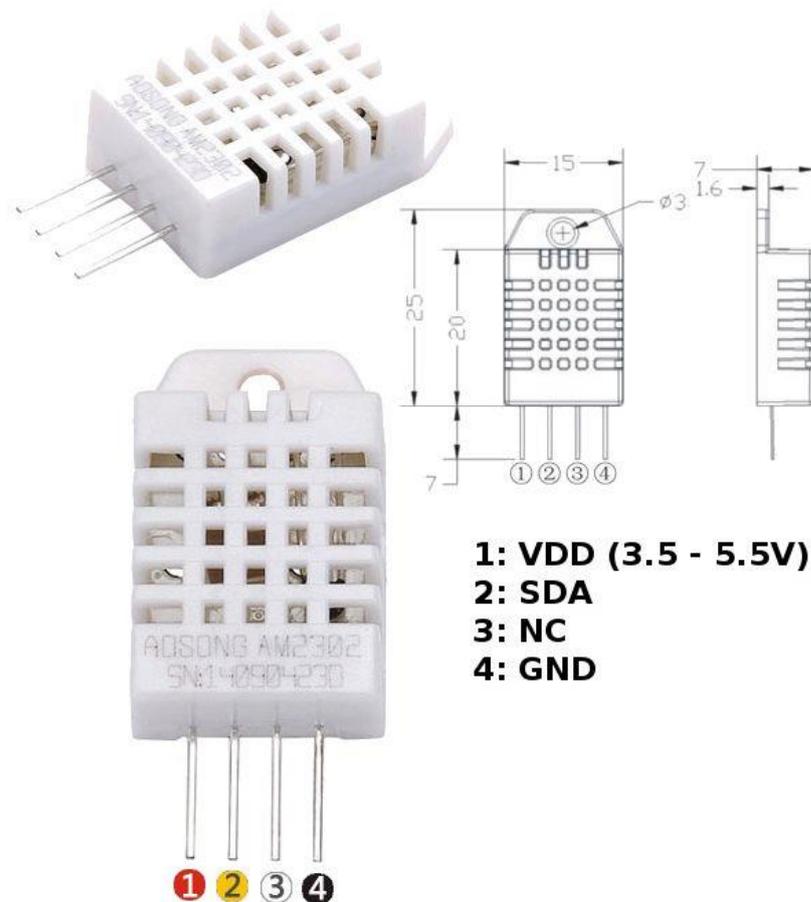
Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.

Cada sensor es calibrado en fabrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m., de preferencia utilizar cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV).

#### 1.2. Especificaciones técnicas

- Voltaje de Operación: 3V - 6V DC
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición de temperatura:  $<\pm 0.5$  °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de sensado: 2s
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Modelo: AM2302

- Dimensiones: 20\*15\*8 mm
- Peso: 3 gr.
- Carcasa de plástico blanco



Sensor DHT22

Para más información vea el datasheet del fabricante en:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

## **2. Sensor de humedad de Suelo Sensor SKU**

### **2.1. Descripción**

Este sensor de humedad del suelo es capaz de medir el nivel de humedad del suelo en donde es insertado, mediante detección capacitiva, en lugar de la detección resistiva que usan otros sensores.

Está construido con un material resistente a la corrosión entregando mayor durabilidad y confiabilidad a tus proyectos.

El sensor incluye un regulador de tensión que provee la capacidad de ser energizado en un rango de voltaje operativo de 3.3 a 5.5V, siendo así compatible con gran cantidad de microcontroladores y tarjetas de desarrollo.

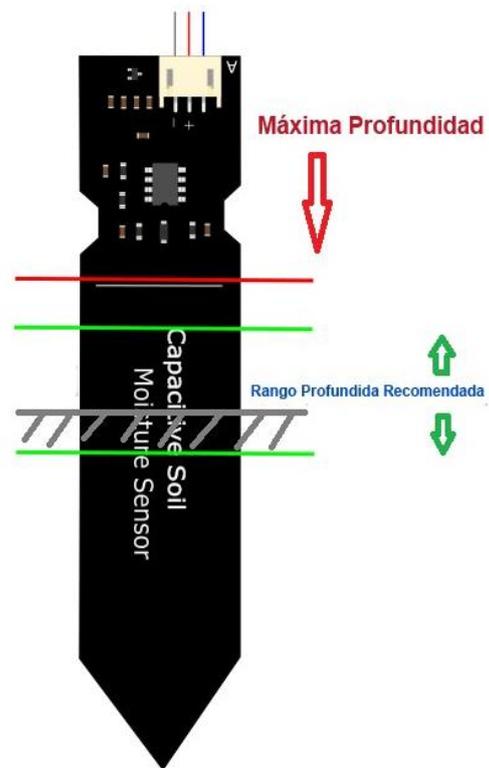
La salida que entrega este sensor es de tipo analógica, siendo esta señal un valor proporcional a la humedad del suelo. Debido a esto, se debe considerar el uso de entradas analógicas, o en el caso de uso con Raspberry pi, añadir un conversor ADC con conexión de datos de tipo digital.

### **2.2. Especificaciones técnicas**

- Tensión de Funcionamiento: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Tensión de Salida: Analógica 0 ~ 3.0 VDC
- Corriente de Operación: 5mA
- Dimensiones: 98 x 23 mm
- Largo del Cable: 20cm
- Peso: 15g

### **2.3. Definición de pines**

- VCC (3.3 – 5V)
- GND
- Interfaz de salida analógica AOUT



Sensor capacitivo de humedad de suelo

Fuente: SigmaElectronica

Para mayor información vea el datasheet del fabricante:

<https://www.sigmaelectronica.net/wpcontent/uploads/2018/04/sen0193-humedad-de-suelos.pdf>

### **3. Sensor de UV UVM-30**

#### **3.1. Descripción**

Este sensor de rayos ultravioleta es capaz de detectar la radiación solar UV usando un simple chip UVM-30A. Puede ser fácilmente configurado para proyectos con diferentes microcontroladores para monitorear UV Index, analizar UV-A de lámparas o proyectos DIY como análisis de crecimiento de plantas.

El sensor puede detectar rayos UV con tamaño de onda entre 200-370nm con rápida respuesta y control analógico. Su tensión de funcionamiento entre 3-5V permite que sea fácilmente conectado a otros controladores como Raspberry Pi.

Con el diagrama índice UV se puede montar fácilmente su proyecto con Arduino para controlar los niveles de rayos ultravioleta.

#### **3.2. Especificaciones técnicas**

- Voltaje de funcionamiento: 3-5 VDC
- Voltaje de entrada: DC 0-1 VDC
- Precisión de medida: +/- 1UV índice
- Corriente de trabajo: 0.06mA (estándar) / 0.1mA (máx.)
- Longitud de onda de respuesta: 200-370 nm
- Temperatura de trabajo: -20°C - +85°C
- Tamaño PCB: 28x12mm

#### **3.3. Definición de pines**

- GND (-) : conexión a tierra
- Out : señal de salida del sensor
- VCC (+) : alimentación del sensor



Sensor UV modelo UVM-30<sup>a</sup>

Fuente:WilTronics

Para más información revisar el datasheet del fabricante:

<https://www.wiltronics.com.au/wp-content/uploads/datasheets/ARD2-2062.pdf>

## 4. Microcontrolador ESP32

### 4.1. Descripción

El ESP-WROOM-32 es un potente módulo que integra Wi-Fi y Bluetooth, ideal para desarrollar productos de IoT. La integración de Bluetooth, Bluetooth LE y Wi-Fi permite una amplia gama de aplicaciones, el uso de Wi-Fi permite una comunicación de mediano alcance y conectarse a una red LAN y a través de un Router conexión a Internet, mientras que el Bluetooth nos permite conectarse directamente a otro dispositivo como un celular.

La corriente de reposo del chip ESP32 es inferior a 5  $\mu$ A, por lo que es adecuado para aplicaciones de electrónica portátiles con batería.

En el núcleo de este módulo está el chip ESP32-D0WDQ6. El chip integrado está diseñado para ser escalable y adaptado. Hay dos núcleos de CPU que se pueden controlar individualmente, y la frecuencia del reloj es ajustable de 80 MHz a 240 MHz. El usuario también puede apagar el CPU y utilizar el co-procesador de baja potencia para supervisar constantemente los periféricos para detectar cambios de estado.

ESP32 integra un amplio conjunto de periféricos como sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, amplificadores de bajo nivel de ruido, interfaz para SD, Ethernet, SPI, UART, I2S e I2C.

El igual que el ESP8266 el ESP32 también tiene plataformas de desarrollo como el NodeMCU-32 ESP32. El módulo trabaja a 3.3V por lo que **NO se debe alimentar con 5V**. Se recomienda colocar un capacitor de 100 $\mu$ F o superior en paralelo con la fuente de alimentación.

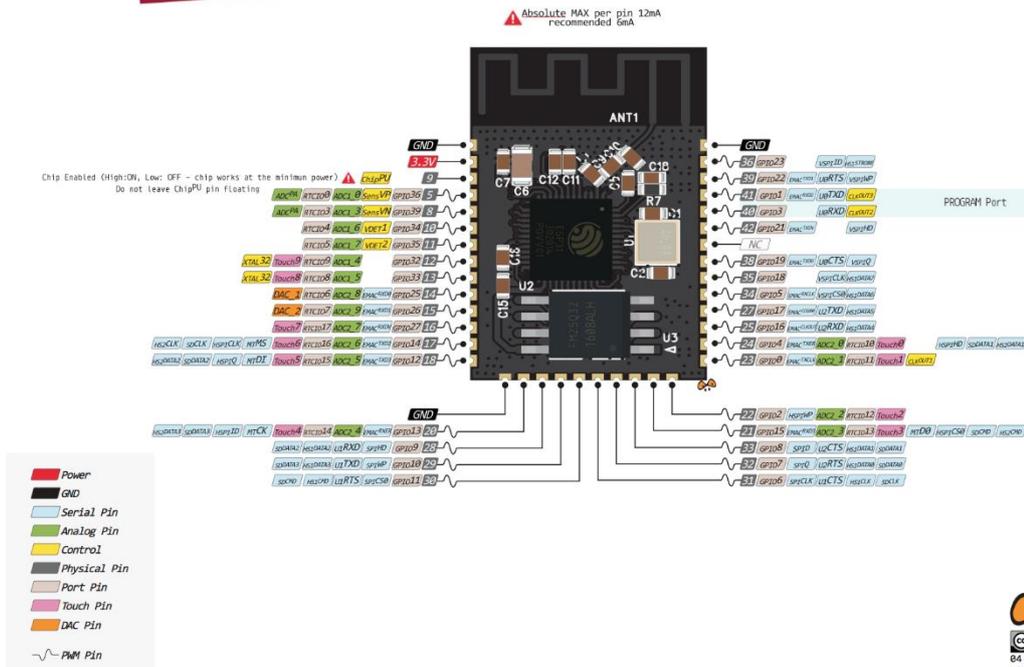
### 4.2. Especificaciones técnicas

- Voltaje de Alimentación: 3.3V DC (2.7~ 3.6V)
- Corriente de Operación: ~80mA (fuente superior a 500mA)
- Voltaje lógico (Entradas/Salidas): 3.3V
- SoC: ESP32 (ESP32-D0WDQ6)
- CPU: Dual core Tensilica LX6 (32 bit)
- Frecuencia de Reloj: 240MHz

- SRAM: 520KB
- Memoria Flash Externa: 4MB
- Pines Digitales GPIO: 34 (incluyendo todos los periféricos)
- UART: 2
- SPI:3
- I2C:2
- Capacitive touch sensors: 10
- interfaz SD
- Timers: 3 (16-bit)
- PWM Led:16 canales independientes (16-bits)
- ADC: 2 (12-bit)
- DAC: 2 (8-bit)
- Wi-Fi, Protocolo 802.11 b/g/n/e/i (802.11n up to 150 Mbps)
- Wi-Fi, certificación RF: FCC/CE/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
- Wi-Fi, rango de Frecuencia: 2.4 ~ 2.5 GHz
- Wi-Fi mode Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
- Wi-Fi Security WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Network protocols IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
- Bluetooth, Protocolos: V4.2 BR/EDR and BLE specification
- Bluetooth, Radios: NZIF receiver with -97 dBm sensitivity, Class-1, class-2 and class-3 transmitter, AFH
- Bluetooth, Audio: CVSD and SBC
- Stack de Protocolo TCP/IP integrado
- Tamaño  $18\pm 0.2$  mm x  $25.5\pm 0.2$  mm x  $3.1\pm 0.15$  mm

# WROOM32

PINOUT



Microcontrolador ESP32

Fuente: Espressif Labs

Para más información vea el datasheet del fabricante:

[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.p](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)

[df](#)



**ANEXO 6: ENCUESTA**

## ENCUESTA

El formato de la encuesta y los datos registrados se encuentra en el siguiente enlace.

<https://tinyurl.com/twndjgz>

**Cuestionario sobre la agricultura tecnología en Tacna, 2019**

**Nombres y Apellidos:**

**DNI:**

*Diego Castro*  
00429336

1. ¿Se hace uso de Sistemas con internet de las cosas en la agricultura en la Región Tacna?, **Marque con una X la más apropiada para Ud.**

Si ( )                      No (X)
2. ¿Cuál es el conocimiento actual que se posee sobre sistemas de Internet de las Cosas?, **Marque con una X la más apropiada para Ud.**
  - Conozco el tema a profundidad. \_\_\_\_\_ ( )
  - Sé algo del tema. \_\_\_\_\_ ( )
  - Conozco el termino, pero no he investigado sobre el tema. \_ ( )
  - No conozco nada sobre Internet de las Cosas. \_\_\_\_\_ (X)
3. **Los sistemas de Internet de Cosas es manera como conectamos objetos a internet con la finalidad de obtener información importante para optimizar diferentes procesos y mejorar la calidad de vida de las personas.** Conociendo esto, ¿Cree que es útil su integración de Internet de las Cosas en nuestras vidas? **Marque su respuesta con una X**

Si (X)                      No ( )
4. ¿Cómo consideraría el nivel de la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna?, **Marque su respuesta con una X**

Alto ( )                      Medio ( )                      Bajo (X)
5. ¿Cuál es el esfuerzo que se realiza en la actualidad para mejorar la gestión agua en la agricultura de la región Tacna?, **Marque su respuesta con una X**

Alto ( )                      Medio (X)                      Bajo ( )
6. ¿Cómo consideras los gastos realizados en gestión del agua en la agricultura?, **Marque su respuesta con una X**

Alto ( )                      Medio (X)                      Bajo ( )