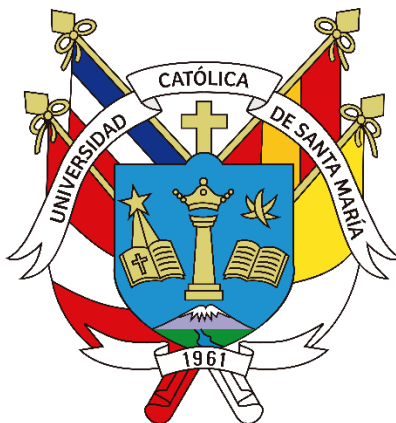


**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**

**Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**



**Diseño de un sistema inteligente de riego por aspersión para  
la gestión eficiente del agua en las rutas de acarreo en  
pequeña y mediana minería**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Alarco Zegarra, Rhandall Nikola**

**ORCID: 0009-0008-9553-9119**

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

**Mg. Bernedo Tito Edwin José**

**ORCID: 0000-0002-3008-6488**

Arequipa, Perú

2024

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA DE MINAS**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 17 de Junio del 2024

**Dictamen: 004985-C-EPIM-2024**

Visto el borrador del expediente 004985, presentado por:

**2013800181 - ALARCO ZEGARRA RHANDALL NIKOLA**

Titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA EN LAS RUTAS DE ACARREO EN PEQUEÑA Y MEDIANA MINERÍA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO DE MINAS**

**40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH  
DICTAMINADOR**



**01231603 - REATEGUI ORDOÑEZ FULTON CARLOS PASTOR  
DICTAMINADOR**



**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA  
DICTAMINADOR**



# Diseño de un sistema inteligente de riego por aspersión para la gestión eficiente del agua en las rutas de acarreo en pequeña y mediana minería

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>11</b> %	<b>11</b> %	<b>1</b> %	<b>4</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Católica de Santa María</b>	<b>4</b> %
	Trabajo del estudiante	
<b>2</b>	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b>	<b>3</b> %
	Fuente de Internet	
<b>3</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b>	<b>2</b> %
	Fuente de Internet	
<b>4</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b>	<b>1</b> %
	Fuente de Internet	
<b>5</b>	<b>digiscend.com</b>	<b>1</b> %
	Fuente de Internet	
<b>6</b>	<b>www.scielo.br</b>	<b>1</b> %
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

*DEDICATORIA*

Dedico esta tesis a mi abuela, que en paz descansa, aquella que siempre me apoyó en mi progreso, y que su preocupación siempre fue que me gradúe, ahora que puedes observarme desde las estrellas; es hora de quitarte esa angustia y alegrarte con los triunfos que obtenga.

Dedico con todo mi corazón, esta tesis a mi mamá Lesly, que siempre está a mi lado en los buenos y malos momentos que pasamos; ella como madre y padre, siempre lucho para sacarme adelante. Te entrego esta alegría, así como tú me regalas una sonrisa todos los días. Te amo mamá.

*AGRADECIMIENTO*

Agradezco a Dios por permitirme concluir con esta investigación,  
darme esas fuerzas que uno necesita para seguir creciendo y  
siempre cuidarme de todo mal.

Agradezco a la Universidad Católica de Santa María y a su planta  
de docentes de la carrera de Ingeniería de Minas por brindarme  
los conocimientos y valores que adopté y me sirven en el día a  
día.

Doy un agradecimiento especial a mi persona, por siempre  
mantenerse recto, luchando para culminar la carrera, dándolo todo  
siempre; sé que podemos más, así que, que esto solo sea el  
comienzo de todo lo que podemos lograr.

## RESUMEN

Dentro de la actividad minera, lo que genera la mayor cantidad de partículas al ambiente es la actividad de transporte, debido que al utilizar equipos pesados (camiones), en los trayectos de deposición y reposición del material las redes viales no se encuentran pavimentadas. A nivel nacional, usualmente los recursos hídricos son bienes escasos que pueden ser considerados como un problema ambiental si su uso es indiscriminado, originando a largo plazo problemas de escases lo que puede limitar en gran medida el desarrollo de la mayor parte de actividades industriales. Debido a ello, es necesario diseñar un sistema inteligente de riego por aspersión para la gestión eficiente del agua en las rutas de acarreo en pequeña y mediana minería. Para ello se utilizó la metodología de Marinovich (2016) y el Manual de Carretera del MTC (2015) para determinar el estado de conservación de las vías de acarreo y el método de cociente de evaporación para determinar la eficiencia de la propuesta implementada. Los resultados obtenidos indicaron que la propuesta implementada significará un ahorro a largo plazo (10 años) de un total de S/. 933,643.02; además que, con el recurso hídrico, permitirá ahorrar un total de 16,371.5184 m<sup>3</sup> de agua por año, para realizar la mitigación de la vía de acarreo bajo las mismas condiciones climáticas y de evaporación que la propuesta actualmente implementada. Se puede concluir respecto al diseño del sistema de riego inteligente que los principales requerimientos son: un sensor de temperatura y humedad de ambiente, un sensor de humedad (higrómetro), electroválvulas, bomba de agua, placa Arduino Mega y módulo ESP8266, una computadora personal (PC) y/o dispositivo móvil con acceso a internet.

### **Palabras clave:**

Minería, riego inteligente, conservación vial

## ABSTRACT

Within the mining activity, what generates the largest amount of particles into the environment is the transport activity, due to the fact that when using heavy equipment (trucks), the road networks are not paved in the material deposition and replacement routes. At the national level, water resources are usually scarce goods that can be considered an environmental problem if their use is indiscriminate, causing long-term problems of scarcity, which can greatly limit the development of most industrial activities. Therefore, it is necessary to design an intelligent sprinkler irrigation system for efficient water management on haulage routes in small and medium mining. For this, the methodology of Marinovich (2016) and the MTC Road Manual (2015) were used to determine the state of conservation of the haul roads and the evaporation quotient method to determine the efficiency of the implemented proposal. The results obtained indicated that the implemented proposal will mean long-term savings (10 years) of a total of S/. 933,643.02; in addition, to the fact that the water resource will save a total of 16,371.5184 m<sup>3</sup> of water for year, to carry out the mitigation of the haul road under the same climatic and evaporation conditions as the currently implemented proposal. It can be concluded regarding the design of the intelligent irrigation system that the main requirements are: an ambient temperature and humidity sensor, a humidity sensor (hygrometer), solenoid valves, a water pump, an Arduino Mega board and an ESP8266 module, a personal computer. (PC) and/or mobile device with internet access.

### Key words:

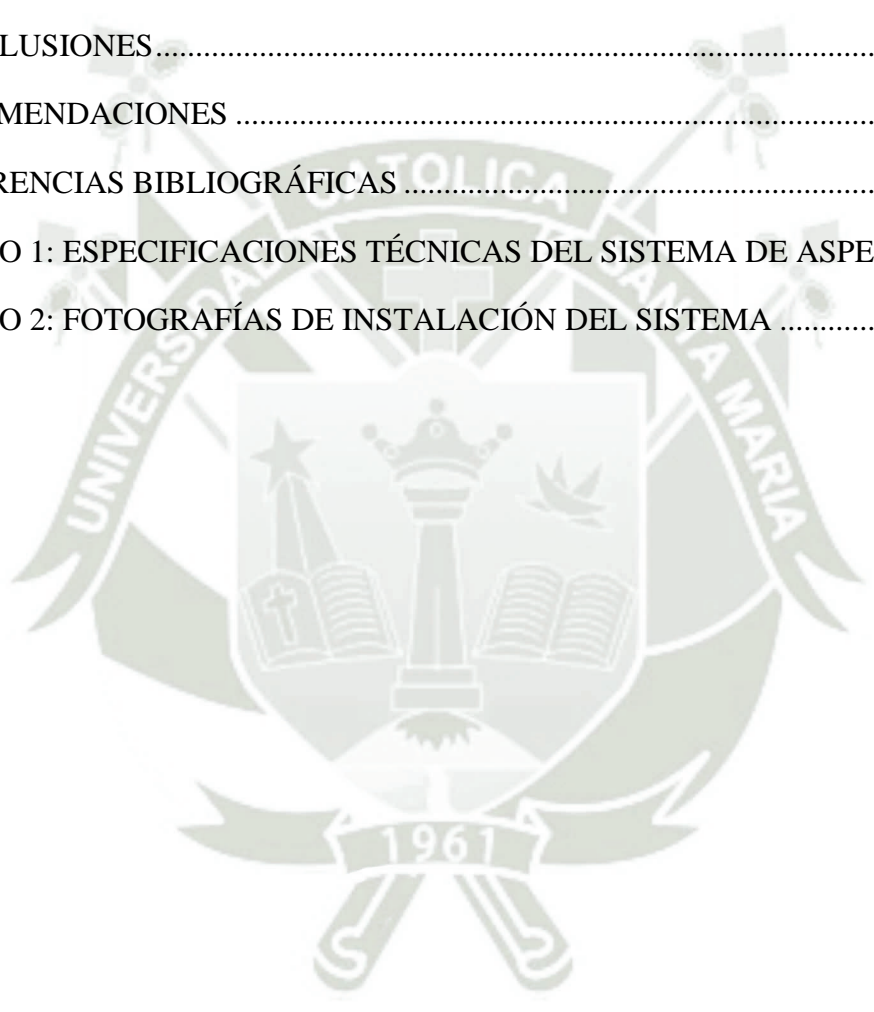
Mining, smart irrigation, road conservation.

## ÍNDICE

<i>DEDICATORIA</i> .....	i
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
1 PLANTEAMIENTO TEÓRICO .....	3
1.1. Determinación del problema.....	3
1.2. Objetivos del proyecto .....	4
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Preguntas de investigación.....	5
1.4. Línea de investigación a la que corresponde el problema .....	5
1.5. Palabras clave .....	6
1.6. Justificación .....	6
1.7. <i>Hipótesis</i> .....	7
1.8. <i>Variables</i> .....	8
1.8.1 Variable dependiente .....	8
1.8.2 Variable independiente .....	8
CAPITULO II.....	11
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	12
2.1. Estado del arte.....	12
2.1.1 Riego por aspersión .....	12
2.1.2 Mitigación de polvo en rutas de acarreo.....	16
2.1.3 Estaciones de Calidad de Aire y Emisiones del MINEM - Concesión Tiabaya 25 .....	25
2.1.4 Pequeña minería e impacto ambiental .....	28

2.2. <i>Antecedentes de Investigación</i> .....	30
CAPITULO III .....	35
3.    MARCO METODOLÓGICO .....	36
3.1.    Alcances y limitaciones .....	36
3.1.1 Alcances de la investigación.....	36
3.1.2 Limitaciones de la investigación .....	36
3.2.    Tipo y diseño de investigación .....	36
3.3.    Población y muestra.....	37
3.4.    Método, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	38
3.4.1 Ubicación de la zona de estudio .....	38
3.4.2 Análisis y descripción de los efectos que ocasiona la polución al ambiente. 42	
3.4.3 Requerimientos de hardware y software para el diseño del sistema riego inteligente .....	43
3.4.4 Análisis de costos .....	55
3.4.5 Calculo del consumo de agua .....	58
3.5.    Plan de análisis estadístico de los datos.....	59
CAPITULO IV .....	61
4.    RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	62
4.1    Análisis e interpretación de resultados .....	62
4.1.1    Caracterización del tramo de estudio.....	62
4.1.2    Análisis y descripción de los efectos que ocasiona la polución en el ambiente .....	65
4.1.3    Problemas de polución identificados en el ambiente.....	66
4.2. Resultados.....	68
4.2.1. Resultados obtenidos: Diseño del sistema de riego inteligente en base a los requerimientos establecidos.....	71
4.2.2.    Resultados obtenidos: Recolección de datos .....	79
4.2.3.    Costos totales actuales de mitigación ambiental .....	88

4.2.4. Resultados obtenidos: Costos totales de implementación del proyecto ...	97
4.2.5. Resultados obtenidos: Calculo de los requerimientos hídricos para un área de regado.....	104
4.2.6. Resultados obtenidos: Recuperación del Capital .....	109
4.2.7. Resultados obtenidos: Obtención de ganancias.....	110
DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	111
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES .....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN..	122
ANEXO 2: FOTOGRAFÍAS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA .....	139



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables.....	9
<b>Tabla 2.</b> Características de tramos de transporte para acarreo de material.....	41
<b>Tabla 3.</b> Características de los impactos del material particulado.....	42
<b>Tabla 4.</b> Datos iniciales del estudio .....	88
<b>Tabla 5.</b> Agua .....	88
<b>Tabla 6.</b> Tabla de costos directos.....	88
<b>Tabla 7.</b> Tabla de costos directos (combustible) .....	89
<b>Tabla 8.</b> Tabla de costos directos (lubricantes) .....	90
<b>Tabla 9.</b> Tabla de costos directos (neumático) .....	91
<b>Tabla 10.</b> Tabla de costos directos (mantenimiento y reparación) .....	92
<b>Tabla 11.</b> Tabla de costos directos (Remuneración de chofer).....	92
<b>Tabla 12.</b> Tabla de costos directos (Derecho autoridad nacional del agua - ANA) .....	93
<b>Tabla 13.</b> Tabla de costos directos (SEDALIB) .....	94
<b>Tabla 14.</b> Tabla de remuneración del personal administrativo.....	95
<b>Tabla 15.</b> Tabla de costos de seguros vehiculares .....	96
<b>Tabla 16.</b> Tabla de costos totales por día.....	96
<b>Tabla 17.</b> Tabla de costos totales de implementación .....	97
<b>Tabla 18</b> Gastos de Capital (CAPEX) y Gastos Operativos (OPEX).....	99
<b>Tabla 19.</b> Costo de propuesta implementada.....	101
<b>Tabla 20.</b> Costo de propuesta actual.....	102
<b>Tabla 21.</b> Detalle de OPEX de riego con sistema inteligente y OPEX de riego tradicional .....	105
<b>Tabla 22.</b> Temperaturas máximas cercanas a la vía de acarreo – Estación la Joya.....	105
<b>Tabla 23.</b> Temperaturas mínimas cercanas a la vía de acarreo – Estación la Joya.....	105
<b>Tabla 24.</b> Temperaturas medias cercanas a la vía de acarreo – Estación la Joya.....	106
<b>Tabla 25.</b> Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día .....	106
<b>Tabla 26.</b> Radiación solar extraterrestre mensual de Arequipa – hemisferio sur .....	107
<b>Tabla 27.</b> Análisis de sensibilidad .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Riego por aspersión.....	12
<b>Figura 2.</b> Tipos de sistemas de aspersión .....	15
<b>Figura 3.</b> Creación de polvo .....	18
<b>Figura 4.</b> Comparación del cabello humano y las partículas de polvo .....	19
<b>Figura 5.</b> Objetivos para la selección de tipo de intervención.....	22
<b>Figura 6.</b> Aplicación de melaza y sellos asfálticos a la vía. ....	24
<b>Figura 7.</b> Tramo de acarreo seleccionado (Desde A hasta B) .....	38
<b>Figura 8.</b> Tramo de acarreo seleccionado (Punto A).....	39
<b>Figura 9.</b> Tramo de acarreo seleccionado (Punto B) .....	40
<b>Figura 10.</b> Diagrama de pines Arduino Mega .....	46
<b>Figura 11.</b> ESP8266 PINES.....	47
<b>Figura 12.</b> NODEMCU PINES .....	48
<b>Figura 13.</b> Higrómetro – Sensor Humedad Tierra.....	49
<b>Figura 14.</b> Módulo Relé para Arduino .....	50
<b>Figura 15.</b> Bomba de agua 220V .....	48
<b>Figura 16.</b> Sensor de humedad .....	49
<b>Figura 17.</b> Potencia por unidad de combustible (PPUC).....	50
<b>Figura 18.</b> Vista frontal del tramo seleccionado.....	62
<b>Figura 19.</b> Vista frontal del tramo seleccionado.....	62
<b>Figura 20.</b> Regado con camión cisterna .....	62
<b>Figura 21.</b> Estaciones monitoreadas .....	67
<b>Figura 22.</b> Regado con camión cisterna – generación de niebla de polvo por tránsito de camiones .....	70
<b>Figura 23.</b> Regado con sistema inteligente – generación de niebla de polvo por tránsito de camiones .....	70
<b>Figura 24.</b> Sistemas de control .....	72
<b>Figura 25.</b> Vista principal de acceso a la plataforma Thingier.io.....	74
<b>Figura 26.</b> Vista principal de acceso a la plataforma Thingier.io.....	74
<b>Figura 27.</b> Conexión de dispositivos a la placa .....	75
<b>Figura 28.</b> Instalación de la librería DHT (temperatura y humedad) .....	75

<b>Figura 29.</b> Rellenado de datos para añadir un nuevo dispositivo para enlazar a la placa con la plataforma Thinger.io .....	76
<b>Figura 30.</b> Estado del dispositivo “CONECTADO” .....	77
<b>Figura 31.</b> Datos obtenidos para la exportación .....	77
<b>Figura 32.</b> Resultado de los datos recolectados.....	78
<b>Figura 33.</b> Instalación de estación de monitoreo .....	78
<b>Figura 34.</b> Información recolectada de los sensores de temperatura.....	79
<b>Figura 35.</b> Información recolectada de los sensores de humedad del suelo .....	81
<b>Figura 36.</b> Temperatura vs tiempo .....	82
<b>Figura 37.</b> Humedad vs tiempo .....	83
<b>Figura 38.</b> Humedad vs temperatura .....	84
<b>Figura 39.</b> Diagrama de dispersión de humedad y temperatura .....	85
<b>Figura 40.</b> Configuración de los mensajes de alerta en Thinger io .....	86
<b>Figura 41.</b> Configuración de cuentas para recibir mensajes de alerta .....	86
<b>Figura 42.</b> Configuración de mensajes de alerta de los sensores .....	87
<b>Figura 43.</b> Costos comparativos de las propuestas de riego.....	101
<b>Figura 44.</b> Diagrama lineal de costos .....	102

## INTRODUCCIÓN

Debido a la escasez de agua en numerosas zonas mineras, resulta fundamental dar prioridad al uso eficaz de dicho recurso. El factor ambiental principal en zonas que dependen de precipitaciones esporádicas, como la región alrededor de Arequipa, es la disponibilidad de agua superficial. Según Knight Piésold Consultores S. A. (2014), la Concesión Tiabaya 25 es un claro ejemplo de una zona rodeada de quebradas secas que merece ser destacado. Es fundamental desarrollar tácticas que reduzcan el consumo de agua, con la finalidad de cuidar dicho recurso y asegurar la sostenibilidad de las operaciones mineras. También resulta indispensable hacer frente a la contaminación generada por el polvo que se levanta mientras se transportan y manipulan materiales, sobre todo en caminos sin asfaltar o mediante vehículos de carga.

Se sugiere implementar un sistema de riego por aspersión inteligente en la Concesión Tiabaya 25 para abordar tanto la contaminación causada por el polvo como el consumo excesivo de agua. El propósito de este sistema es optimizar el uso del agua y reducir la producción de polvo en los caminos utilizados para transportar materiales en operaciones mineras pequeñas y medianas. Se emplearon la metodología de Marinovich (2016) y el Manual de Carretera del MTC (2015) para evaluar el estado de conservación de las vías, así como el método del cociente evaporativo para determinar la eficacia del sistema. Se espera que los resultados incluyan un ahorro económico importante durante 10 años y una disminución notable en el uso de agua, ajustándose a las condiciones climáticas y de evaporación locales. No solo se considera la reducción de la contaminación del aire en esta estrategia, sino que también se le da prioridad a la conservación del recurso hídrico, lo cual lleva a una minería más sostenible y responsable.



# CAPITULO I

## 1 PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1.1. Determinación del problema

A nivel global, las operaciones mineras requieren remover enormes cantidades de material, por lo cual se requiere de equipos especializados como maquinaria pesada y equipos industriales, lo que permite el procesamiento de los minerales necesarios para la producción. En este procedimiento de remoción, se producen pilas o depósitos de desechos formados por partículas pequeñas que pueden escapar fácilmente al ambiente generando contaminación (Brauer, Giubergia, & Gil, 2019).

Dentro de la actividad minera, lo que genera la mayor cantidad de partículas al ambiente es la actividad de transporte, debido que al utilizar equipos pesados (camiones), en los trayectos de deposición y reposición del material las redes viales no se encuentran pavimentadas (Durán & Peña, 2018).

Usualmente la mayor parte de compañías mineras realizan el proceso de limpieza para evitar la acumulación de partículas de polvo a través del regado de los caminos, esta operación si bien es común, es totalmente ineficiente, debido a que los valores de evaporación en zonas áridas y calurosas son de 30 minutos aproximadamente, mientras que en climas gélidos, como los de montaña, este se congela y produce deslizamientos que pueden perjudicar al transporte y personal (Brauer, Giubergia, & Gil, 2019).

A nivel nacional, usualmente los recursos hídricos son bienes escasos que pueden ser considerados como un problema ambiental si su uso es indiscriminado, originando a largo plazo problemas de escases lo que puede limitar en gran medida el desarrollo de la mayor parte de actividades industriales. Es principalmente en la minería, en donde los recursos hídricos están presentes en casi todos los procesos, en

donde se puede mencionar algunos como: extracción, aglomeración, flotación, etc.

(Durán & Peña, 2018).

Localmente, se identificó un predio minero ubicado en las afueras de Arequipa, denominado Concesión Tiabaya 25, en donde según Knight Piésold Consultores S.A. (2014), uno de los principales componentes ambientales a considerar en esta operación minera debido a su alcance geográfico es la calidad del aire, este término debe de comprenderse entre las fuentes de emisión y la cantidad de material particulado. De acuerdo a Knight Piésold Consultores S.A. (2014) entre los años 2007 – 2012 en los distritos de Uchumayo, Tiabaya, Yarabamba y la Joya se han registrado 1900 casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, 495 por enfermedades cardiovasculares y 1222 admisiones por ataques de asma en niños, los cuales son atribuidos al PM10 (material particulado en el aire). Debido a ello se consideran diferentes componentes para realizar una propuesta de solución como: la cantidad de agua superficial disponible, debido a que el área de operación se encuentra rodeada de quebradas secas, en donde la disponibilidad de agua solo se produce gracias a las lluvias esporádicas de la zona. Finalmente, el último componente a considerar son las áreas de influencia socioeconómica, en donde las zonas de influencia directa corresponden a las poblaciones de los distritos de Uchumayo, Tiabaya, Yarabamba y la Joya en la Provincia de Arequipa.

## **1.2. Objetivos del proyecto**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema inteligente de riego por aspersion para la gestión eficiente del agua en las rutas de acarreo en pequeña y mediana minería.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos de hardware y software para el diseño del sistema riego inteligente.
- Diseñar y confeccionar el sistema de riego inteligente en base a los requerimientos establecidos.
- Calcular el consumo de agua destinada para el control de polución generada en caminos operacionales.

### 1.3. Preguntas de investigación

Expresado la problemática, es posible formular las siguientes preguntas de investigación:

- ¿De qué manera es posible mejorar la disponibilidad y uso del agua en las operaciones de mitigación ambiental de las vías de acarreo de la concesión minera Tiabaya 25?
- ¿Cuáles son las características de los tramos de transporte y cuál es el equipamiento para el acarreo de material en pequeña y mediana minera?
- ¿Cuál es el efecto que ocasiona la polución al ambiente y zonas contiguas?
- ¿Cuál es el requerimiento de hardware y software para el diseño del sistema riego inteligente?
- ¿Cómo será el diseño y como se confeccionará el sistema de riego inteligente en base a los requerimientos establecidos?
- ¿Cuál sería el consumo de agua destinada para el control de polución generada en caminos operacionales?

### 1.4. Línea de investigación a la que corresponde el problema

Según las líneas de investigación de la Universidad Católica de Santa María para la Escuela Profesional de ingeniería de minas e indicando que se presentan según la Modalidad Presencial AUTO N° 019-VRINV-2019; la presente investigación

corresponde a “Minería y Medio Ambiente”, ya que, se implementa un diseño de aspersión para pequeña y mediana minería, con fin de cuidar el medio ambiente.

### 1.5. Palabras clave

- Sistema inteligente
- Riego por aspersión
- Mitigación ambiental
- Rutas de acarreo
- Minería

### 1.6. Justificación

Los aportes de la presente investigación son las siguientes:

La presente investigación buscó reducir el uso de agua utilizada para mitigar ambientalmente la Concesión minera Tiabaya 25, además de garantizar la salud del personal que puede estar expuesto al polvo en las diferentes vías de operación minera, a través de la implementación de un sistema de mitigación del polvo por aspersión. De acuerdo con MINEM (2011).

Desde un enfoque ambiental, a través de la aplicación de esta propuesta se buscó reducir el impacto ambiental en los procesos de extracción minera, referido específicamente en el transporte de la materia prima y la reducción de la huella azul (gasto hídrico), permitiendo que las operaciones mineras sean más eficientes ambientalmente hablando. De la misma manera, a través de un análisis geográfico de la zona de estudio y la aplicación de la presente propuesta se buscó mitigar el polvo generado en la operación minera, tomando como referencia de estudio un tramo de vía, puesto que es necesario comprender que el polvo puede llegar a ser un peligro tanto para la salud de los seres vivos como la seguridad en el trabajo.

Según estudios previos (Gómez & Smith, 2018; Martínez, 2017; López & García, 2019; Santos & Fernández, 2020; Aguilar, 2016), la aplicación de un modelo de dispersión de material particulado permite determinar el nivel de concentración de las partículas en suspensión en la atmósfera circundante al área del proyecto minero. Este método puede identificar sitios específicos afectados según la dirección dominante de los vientos y la posición geográfica, abarcando áreas de influencia inmediata, mediata y remota de la explotación.

Desde un enfoque técnico, para el diseño del sistema de mitigación se consideró los siguientes requerimientos de hardware y software para su construcción: microcontroladores, módulos Wifi, sensores de humedad, actuadores, módulos relé, bomba de agua y plataformas de procesamiento de datos.

Desde un enfoque social, el desarrollo de esta tesis posibilitó que el recurso hídrico que se comparte con las comunidades no sea malgastado o utilizados de manera inadecuada, representando un ahorro importante del agua, evitando la posibilidad que surjan próximos conflictos sociales.

Desde un enfoque académico, el desarrollo de esta tesis posibilitará que múltiples investigadores o estudiantes sean capaces de identificar nuevas posibilidades de mitigar el polvo en las operaciones mineras a través del cálculo del consumo del agua, el entendimiento de las condiciones geográficas y la aplicación de un sistema inteligente de riego por aspersión.

### ***1.7. Hipótesis***

Con la aplicación del sistema inteligente de riego por aspersión a través de un estudio técnico y observacional en campo, se espera lograr una gestión más eficiente del agua en las rutas de acarreo en pequeña y mediana minería, reduciendo así el consumo total de agua en estas operaciones.

## *1.8. Variables*

### **1.8.1 Variable dependiente**

Consumo de agua en las rutas de acarreo en pequeña y mediana minería.

### **1.8.2 Variable independiente**

Sistema inteligente de riego por aspersión.



**Tabla 1.**

*Operacionalización de variables*

<b>VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Variable independiente; Sistema inteligente de riego por aspersión	El riego por aspersión es un método de riego mecanizado y presurizado, debido a que es necesario presión en sus componentes mecánicos para poder mover el agua. Se puede estimar que la reducción de agua se puede reducir entre un 40 a 50 % en comparación a los métodos de regado tradicionales. (MINAGRI et al., 2015)	Debe considerarse: el Tiempo disponible (TD) para el Regado, las pérdidas por evaporación y arrastre y el coeficiente de uniformidad de Christiansen promedio. Para cada estrategia el TD se debe calcular como el porcentaje de tiempo total en función con la velocidad del viento. (Martínez et al., 2010)	Agua	Fuente de abastecimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación</li> <li>- Estudio técnico</li> <li>- Softwares de codificación</li> <li>- Estudio ambiental</li> <li>- Revisión documental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficha de observación</li> <li>- Estudio técnico</li> <li>- Software de procesamientos de datos</li> <li>- Revisión documental</li> </ul>
			Cabezal de riego	Filtrado Bombeo Control y medición		
			Distribución	Red de distribución		
			Riego	Arco de riego		
			Emisores	Difusores Rotores		
			Automatización	Hardware Software		
<b>VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>MÉTODO</b>

<p>Variable Dependiente; Consumo de agua en las rutas de acarreo en pequeña y mediana minería</p>	<p>En el Perú, los sistemas de riego no están definidos, o no existe una consideración real de ellos. El riego en las rutas de acarreo se realiza de manera limitada o inexistente debido al desconocimiento y falta de consideración de las agrupaciones operadoras.</p>	<p>La cantidad de agua utilizada en el riego de las rutas de acarreo en la minería, expresada en unidades de medida apropiadas para el análisis y la comparación.</p>	<p>Rutas de acarreo</p> <p>Volumen de agua utilizado</p>	<p>Características Equipamiento</p> <p>Análisis de la disponibilidad y uso de sistemas de riego en las rutas de acarreo en la minería.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación</li> <li>- Estudio técnico</li> <li>- Softwares de codificación</li> <li>- Estudio ambiental</li> <li>- Revisión documental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficha de observación</li> <li>- Estudio técnico</li> <li>- Software de procesamientos de datos</li> <li>- Revisión documental</li> </ul>
---	---	---	--	--	---	---

Nota: El cuadro es de autoría propia y cada definición operacional se fundamenta en teoría corroborada



## **CAPITULO II**

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

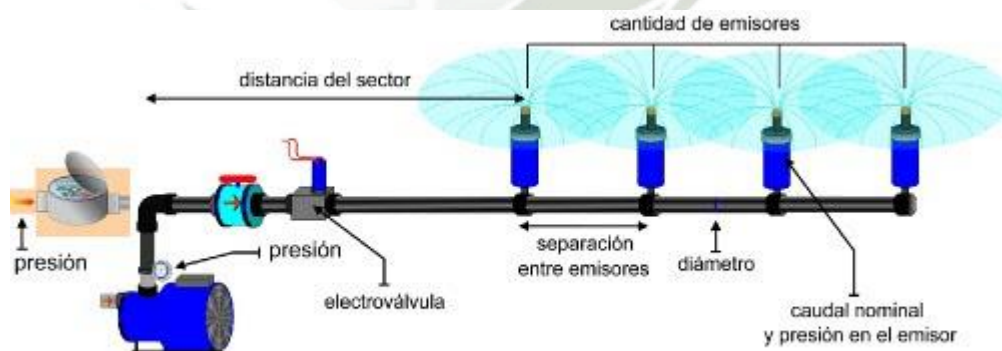
### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1 Riego por aspersión

De acuerdo con Llique (2017), el sistema de riego por aspersión es una técnica que imita el cómo la lluvia regaría un terreno, el agua se conduce a través de un sistema de tubos hasta un componente llamado aspersor, entonces desde aquí gracias a la fuerza del aire el agua se expulsa. De acuerdo con Villacís (2012), el riego por aspersión es una técnica que se basa en distribuir el agua en un terreno de manera uniforme a través de goteo en forma de lluvia, estos generan chorros de agua con forma circular. Las superficies que se logran regar dependen de que tan grande sean los aspersores utilizados, estos elementos son importantes porque poseen la suficiente presión para regar áreas importantes a través del uso de bombas. Otro factor importante son las redes de tuberías que mueven el agua en diferentes superficies, para poder alcanzar un mayor rango de regado.

#### Figura 1.

*Riego por aspersión*



Nota: Tomado de Mallorca (2012)

De acuerdo con Villacís (2012), los equipos de riego por aspersión han evolucionado en gran manera a través del tiempo, actualmente existe muchas variedades

que se acoplan a las necesidades y medios económicos de los diferentes proyectos que pretenden utilizarlos. Antiguamente se hacía uso de aspersores colocados de manera simétrica en el terreno el cual se retiraban una vez cumplían su tarea. Después se crearon aspersores de tipo “muelle de retroceso” los cuales se retraen cuando no es necesario regar. De manera reciente, gracias al desarrollo tecnológico, se pueden programar a través de un computador y monitorearlos con un teléfono celular. Los autores hacen la siguiente recomendación para realizar el riego por aspersión:

- Villacís (2012), señala que se debe tener precaución cuando se instala la bomba, esta tiene que tener una posición horizontal para evitar presiones innecesarias. En el momento que se manipula, la tensión debe ser la correcta, si fuera necesario se debería de utilizar un manómetro.
- Villacís (2012), indica que se debe de implementar un filtro al inicio de la toma de agua para implementar el sistema de riego, esto evita que cuerpos extraños entren al sistema.
- Villacís (2012), señala que se debe de mantener constante la cantidad de aspersores, haciendo que estos rieguen de manera similar para que la bomba funcione siempre bajo las mismas condiciones, así no varía el caudal.
- Villacís (2012), indica que al momento de realizar la instalación del sistema de tuberías se debe de asegurar que la bomba este fijado de manera segura, asegurándose que los elementos de sujeción estén limpios y las juntas negras bien colocadas.
- Villacís (2012), indica que es preferible que el regado no se realice con agua que contenga sustancias salinas, ya que puede producir posibles desperfectos a largo plazo en el sistema.

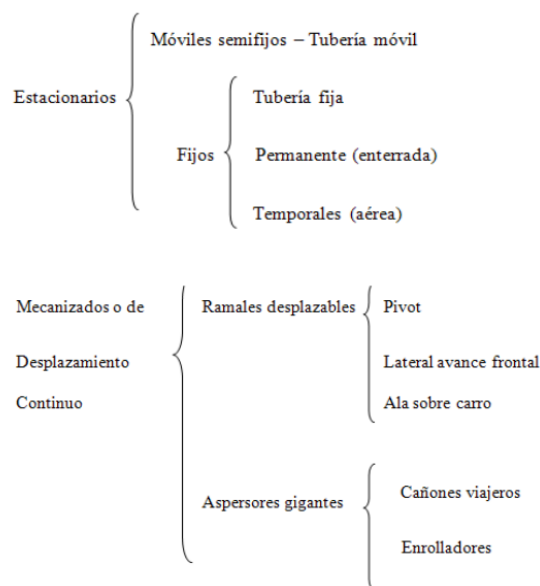
- Villacís (2012), señala que al momento de realizar el regado no se recomienda que se haga con vientos fuertes debido a que este procedimiento debe de realizarse con una distribución adecuada de agua, además es sabido que con altas velocidades de vientos aumentan las pérdidas por evaporación.
- Villacís (2012), menciona que es posible automatizar el sistema de riego en horario nocturno, esto provoca que se disminuya la temperatura al regar además de la velocidad del viento, debido a ello se reducen las pérdidas hídricas por evaporación.
- Villacís (2012), indica que debe realizarse los cuidados necesarios al momento de realizar la instalación, porque si se produjera una rotura u obstrucción, se podría ocasionar un fallo en el sistema.
- No debe de haber limitaciones cuando se ponga en marcha la red de riego por aspersión, debido a que algunas veces al querer economizar las instalaciones se pone en riesgo la eficiencia del sistema. Las operaciones de instalación lo deben de realizar personal con conocimiento.

Villacís (2012), indica que los sistemas de riego por aspersión pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Sistemas estacionarios: Villacís (2012), indica que estos se caracterizan por situarse en una sola posición para cuando se produce la etapa de regado, en esta categoría se ubican los sistemas que tienen la capacidad de desplazarse en diferentes posiciones sin salirse del sistema a través de manipulación manual, tuberías, o de forma mecánica, como por ejemplo los sistemas de desplazamiento discontinuo.
- Sistemas mecanizados: Villacís (2012), indica que estos sistemas tienen la particularidad de desplazarse mientras realizan el regado, a través de una trayectoria lineal o circular. Estos sistemas de desplazamiento continuo poseen un pivote, cañones halados a tuberías o por cables.

**Figura 2.**

*Tipos de sistemas de aspersión*



Nota: Tomado de Villacís (2012)

Un sistema de aspersión está formado por los siguientes elementos:

- La fuente de abastecimiento de agua: Castañón (2000), indica que el punto en donde se obtiene el agua (fuentes naturales como ríos, canales de regadío, pozos, o cualquier otra fuente) se deben de guardar en reservorios, es entonces en donde el agua es succionada por un equipo de bombeo, el cual le otorgará la presión suficiente para que el sistema de riego tenga un adecuado funcionamiento, las dimensiones que se deben de regar también es necesario considerar.
- Cabezal de riego: Adra Perú (2009), sostiene que estos son un conjunto de elementos que permiten tratar el agua de riego, filtrando y midiendo el control de la presión con la que el sistema realiza el regado.
- Red de distribución: Llique (2017), indica que es la red de tuberías que se originan en el cabezal de riego, estas tuberías toman el nombre de acuerdo a la clase que tienen, las de tipo primario se originan de la toma de riego o cabezal, las secundarias

son las que reparten agua hacia los lugares de riego, la terciaria es la tubería que permite alimentar de manera directa a los ramales de aspersión conectándose en última instancia a los emisores de riego.

- Arco de riego: Liotta (2015), sostiene que las válvulas deben de instalarse en el espacio en donde se requiere realizar el suministro de agua en los diferentes puntos de riego. Las instalaciones pueden realizarse a través de operaciones manuales o mecánicas. En estas últimas se debe de considerar las presiones hidráulicas que accionan el diafragma que interrumpe la presión y el flujo del caudal, lo cual permite la apertura o cierre del sistema.
- Emisores: De acuerdo con Rincón (2007), estos están compuestos por emisores, que tienen un radio entre 0,9 y 5.5 m, los cuales son usados en recintos pequeños, la velocidad de aplicación es ratio elevado y funcionan con un rango de presión de 1.0 y 2.1 bares. Estos permiten que haya un mayor control al momento de regar, debido a que es posible calibrar el Angulo en que cae el chorro de agua. También se encuentran los rotores, los cuales tienen un mayor alcance que los elementos anteriormente mencionados, con una velocidad de aplicación baja debido a que funcionan a rango de presión entre 1.5 a 4.5 bares. Estos componentes permiten una mayor capacidad de control en el espacio que se desea regar, debido a que se puede controlar el ángulo en que cae el agua.
- Automatización del sistema de riego: Rincón (2007), indica que automatizar el sistema es imprescindible para utilizar el agua en la situación más precisa según las necesidades y requerimientos del momento, se puede alcanzar adecuados niveles de eficiencia al utilizar el agua, se puede ahorrar más energía, y reducir los precios de producción, así como el uso del agua.

### 2.1.2 Mitigación de polvo en rutas de acarreo

Según Durán y Peña (2018), existen varias técnicas en el rubro de la minería para evitar la acumulación y propagación de partículas de polvo. En el caso de las vías utilizadas para el transporte de productos mineros, la forma de mitigación ambiental más común es aplicar agua de forma directa a través de riegos por mangueras, esto provoca que se forme una cohesión con el suelo que impide que las partículas de polvo se levanten y contaminen zonas aledañas. Un aspecto negativo de esta práctica es que se genera un sobregasto de agua.

Durán y Peña (2018), indican que las vías que no están pavimentadas deben de mantenerse en adecuadas condiciones, con una mantención óptima, esto porque cuando la vía está en mal estado se pueden producir exceso de material particulado en el ambiente lo que genera las siguientes consecuencias:

- La visibilidad de los conductores no es adecuada, a causa de las nubes de polvo que están en el aire, lo que aumenta los casos de accidentes
- La salud de las personas es afectada, produciéndose de manera continua enfermedades respiratorias, alergias, así como o iniciadores de otras enfermedades crónicas.
- El material producido usualmente es de tipo fino, y por ello resulta abrasivo, lo que desgasta las piezas de los equipos móviles mineros
- El polvo que se produce en las vías no asfaltadas puede desplazarse por miles de metros, ingresando a cultivos, casas y propiedades ajenas a la minera.

Ulate (2018), indica que los caminos que no poseen pavimentación tienen como principal defecto la propagación prolongada de polvo hacia el medio ambiente. Las superficies que no tienen una capa de rodadura o donde se haya realizado un tratamiento impermeabilizante producen polvo como el resultado de los esfuerzos cortantes entre los neumáticos del vehículo y la vía, esto genera que se produzcan roturas de los

agregados en partículas minúsculas al momento que el vehículo pasa sobre la vía, es en el recorrido que el polvo adherido es arrastrado por la llanta del auto a otros lugares.

### Figura 3.

*Creación de polvo*



Nota: Tomado de Ulate (2018)

En la imagen se ve que el polvo existente (1) cuando entra en contacto con la llanta (3) se levanta partículas de polvo al aire (2), esto provoca que haya una rotura superficial (4), entonces el polvo que se localiza en la llanta es transportado a otros lugares por el recorrido del vehículo (5).

Ulate (2018), sugiere que el fenómeno de producción de polvo usualmente se relaciona al transporte aéreo y terrestre que mueve el polvo de un lugar a otro debido al movimiento del aire generado por el movimiento de estos medios de transporte. El autor también indica que existe tres mecanismos que lo generan, los cuales son:

- Empuje y desplazamiento de polvo hacia el medio ambiente cuando se produce la fricción entre la vía no pavimentada y la llanta
- El movimiento de las corrientes de aire originadas por el movimiento de los vehículos, lo que generan turbulencias y remolinos, los que a su vez generan

esfuerzos cortantes sobre la superficie capaz de mantener las partículas de polvo suspendidas por un tiempo prolongado.

- El movimiento de partículas entre sí, producto de la caída y fricción entre ellas

Ulate (2018), indica que en los análisis viales el polvo originado es analizado a través de diferentes puntos de vista, desde el enfoque de la seguridad vial, debido a que el origen de nubes densas constituye un peligro a los conductores, hasta los problemas de salud que generan a los seres vivos al inhalar partículas peligrosas y contaminadas. Debido a esta problemática de salud que se da globalmente y con la finalidad de poder medir cuanto es el grado de peligro real por emisiones de partículas de polvo es que se utiliza un término material particulado (PM en inglés), el cual es delimitado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Este material se clasifica según el tamaño de partícula que va desde una clasificación PM10 a PM2,5, estos tamaños se consideran como “inhales” ambas partículas tienen un diámetro menor o igual a 10  $\mu\text{m}$ , y menor o igual a 2,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

#### Figura 4.

*Comparación del cabello humano y las partículas de polvo*



Nota: Tomado de Ulate (2018)

En esta imagen se puede ver la comparación de tamaños entre el cabello humano y las partículas de polvo. De acuerdo con Ulate (2018), el cabello humano puede ser 30 veces mayor a una partícula de tamaño PM<sub>2,5</sub>.

Ulate (2018), indica que una manera de poder medir el polvo que producen los vehículos cuando recorren una vía no pavimentada se realiza de la siguiente manera:

- Si el lugar donde se realiza alguna actividad económica cumple con las normativas nacionales de impacto ambiental
- Si la cantidad partículas de polvo emitidos por los vehículos recorren regularmente las vías no pavimentadas
- Si con anterioridad se han aplicado medidas de mitigación ambiental en función al objetivo propuesto

Se pueden aplicar las siguientes metodologías resumen para evaluar cómo afecta el polvo al ambiente:

- Evaluación visual: Según Ulate (2018), el procedimiento consiste en observar de manera presencial el contraste entre un objeto y lo que lo rodea en presencia de una humareda de polvo. Las estimaciones son subjetivas, es decir están en función a la percepción de cada evaluador, debido a ello si se quiere una mayor rigurosidad científica es necesario que se utilicen fotos, escalas de color o descripciones referenciales. Este método es sencillo, se realiza de forma rápida sin gastar mayores recursos, pero es un tanto inexacta.
- Medición de la caída de polvo: Según Ulate (2018), este es un método de medición estacionario, pasivo, el cual consiste en conocer el tamaño de la partícula de polvo. Para ello debe de recolectarse el polvo que cae en la superficie en recipientes que tengan forma de taza o disco, las superficies deben de estar con aglomerantes pegajosos para evitar que el polvo se pierda a razón del viento. Deben de colocarse

en el lugar por un tiempo determinado para medir la cantidad de polvo que puede recolectarse. Este método puede definirse como sencillo, barato, aunque requiere tiempo y la rigurosidad de los resultados es media.

- Muestreo de filtros: Según Ulate (2018), debe de bombearse un volumen de aire que se conozca mediante un filtro por un tiempo determinado. Se quita el filtro y se mide la masa de las partículas de polvo que se adhirieron. Luego deben de realizarse experimentos gravimétricos, químicos, etc. También es necesario considerar el método de Muestreo de Alto Volumen (HiVol) como una normativa de consulta y referencia. Este método es costoso, debido a que se requiere de un equipo profesional, pruebas de laboratorio y equipos sofisticados.
- Muestreo semicontinuo: Según Ulate (2018), este se realiza por medio de monitores, los cuales deben de realizar pruebas en el aire con una frecuencia que puede estar indeterminada (estos usualmente se realizan por periodos de segundos o minutos). Deben de utilizarse monitores con fuentes radioactivas o sensores que puedan captar la vibración, el método normativo debe de ser administrado por la US EPA. También puede hacerse uso de nefelómetros laser los cuales permiten medir el polvo que se escapa hacia el ambiente en vías que no están pavimentadas.
- Medición de caminos: Según Ulate (2018), usualmente para realizar la medición por esta técnica es necesario combinar los métodos estacionarios que se describieron anteriormente. Para ello se deben de adaptar los aparatos que miden las partículas de polvo a un vehículo en movimiento para que este realice mediciones móviles en las vías que no están pavimentadas. Las mediciones que se realizan en movimiento son las más requeridas y preferidas por expertos, debido a que es posible realizar comparaciones relativas en un tiempo relativamente breve. En tiempos recientes se utilizan como instrumentos los nefelómetros aplicados en vehículos móviles.

Ulate (2018), indica que la mitigación de polvo en una vía que no tiene pavimento se origina con la elección de los materiales adecuados (una capa de rodadura adecuada), el tipo de calzada que se conforma (bombeo adecuado) y drenajes adecuados (la cantidad de alcantarillas necesarias). Si alguna de estas condiciones no es implementada, al momento de realizarse las medidas de control o disminución de polvo serán menos efectivas. Poder controlar la velocidad en que se desplazan los vehículos es otra manera de poder mitigar el polvo, por ejemplo, se ha comprobado que a una velocidad de 50 km/h a 25 km/h se puede reducir la cantidad de polvo entre un 30% a 80% de tipo PM10 generado por los vehículos, además de permitir que la vida útil de los caminos o vías que no están pavimentadas puedan incrementarse por que los niveles de corte en los pavimentos de las pistas se regulan al no producirse fricciones.

Ulate (2018), indica que los objetivos principales para poder intervenir una vía son: realizar un análisis del costo de vida útil, evaluando alternativas respecto a la cantidad de dinero y los posibles beneficios a largo plazo. También se debe de considerar la jerarquía de las vías, el volumen de tránsito vehicular, el material que se dispone para los pavimentos, si la vía posee curvas, las metodologías para la evaluación del polvo, el clima, etc.

**Figura 5.**

*Objetivos para la selección de tipo de intervención*



Nota: Tomado de Ulate (2018)

Ulate (2018), indica que una vez se hayan considerado los elementos básicos de una vía, así como las características técnicas y financieras adecuadas, es necesario poner en marcha un plan para controlar el polvo, involucrando aplicar supresores o reductores de polvo, se pueden considerar diferentes productos en función de su origen o formación química. Regularmente se pueden aplicar diversos productos, incluso algunos caseros, como formas de controlar el exceso de polvo a modo de mecanismo inmediato de los habitantes que viven en los alrededores, sin embargo, también es necesario tomar en cuenta que la mayoría de veces estos productos no responden a un análisis metódico previo, como el ciclo de vida, las condiciones de tránsito, las propiedades de los materiales ni el bioclima ni la zona geográfica. Por ejemplo, en algunas zonas rurales se utiliza melaza o aceite de palma, en otras situaciones se utilizan emulsiones asfálticas o productos que son mezcla de asfalto y grava. Estas técnicas usualmente se aplican en tramos o secciones de vía mezclados con material de rodadura, dando como

resultado que no solo se reduzca el polvo en los caminos no pavimentados sino también la erosión producida por el tránsito vehicular y lluvia.

### Figura 6

*Aplicación de melaza y sellos asfálticos a la vía.*



Nota: Tomado de Ulate (2018)

De acuerdo al Manual de Carreteras del MTC (2015) y de Marinovich (2016), el mantenimiento de vías hace referencia a todas aquellas acciones que están destinadas a conservar la operatividad de la vía, a conservar el diseño y eliminar los peligros de deterioro. Para ellos se consideraron las siguientes acciones:

- **Cunetas:** Según Marinovich (2016), son excavaciones que permiten dirigir las precipitaciones pluviales hacia pozos de captación para que posteriormente puedan ser tratados. Una estrategia es construirlos en dirección al peralte para aprovechar la gravedad y facilitar que el agua ingrese de forma fácil.
- **Sangrías:** Estos elementos son complementarios a las cunetas y pueden catalogarse como pequeñas disposiciones de forma transversal al tramo, conectándose con las cunetas. Este sistema permite que el agua no tenga que pasar por toda la vía sino a través de estos elementos.

- Gibas: Son desniveles que se disponen por encima de la capa de rodadura de la vía a modo de “rompemuelles”, los cuales permiten canalizar el agua hacia las cunetas y también permiten que la velocidad de los vehículos se reduzca en algunos tramos críticos.

### 2.1.3 Estaciones de Calidad de Aire y Emisiones del MINEM - Concesión Tiabaya

#### 25

Cada uno de los puntos fueron instalados de acuerdo a los criterios de Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones del MINEM. A continuación, se describirá la ubicación de cada punto:

- Quebrada Linga: Está ubicado al extremo del depósito de relaves en la zona norte de la quebrada Linga. Esta zona está despoblada, pero presenta fauna y flora típica de la región. Existe una presencia importante de material particulado en este punto que puede afectar la calidad de aire a las zonas aledañas, principalmente el material particulado corresponde a la erosión eólica.
- Quebrada maldita: Esta ubicado a 2.5 km al sur de la Quebrada Linga. La ubicación de este punto coincide con la zona centro de depósitos de relaves de las minas de la zona. Se puede decir de esta zona que está despoblada, en donde el ambiente es sumamente árido con poca vegetación. Se ha determinado que la mayoría de material particulado en esta zona corresponde a la erosión eólica natural de la zona.
- San José-1: Esta ubicado a 2 km del cruce de la carretera San José y la Carretera AR113. La zona no tiene presencia de vida vegetal o animal. Las fuentes de emisión de material particulado en estas zonas se deben al tránsito de pequeños autos y pesados sobre la vía sin asfaltar y la erosión de la zona.

- San José-2: Se ubica a 500 m de la carretera que se dirige a la caseta San José. Esta zona es desolada con nula presencia vegetal. Las posibles fuentes de emisión de material particulado se deben a la presencia de vehículos, los tramos sin asfaltar y la erosión natural.
- Tinajones – 1: Se ubica cerca de la Carretera Departamental AR113 y se vincula directamente con el ingreso de la zona de Tinajones. En esta zona no existe vegetación. Las fuentes de emisión de material particulado se deben a la calidad del aire de las zonas aledañas, en donde el tránsito de vehículos y la erosión natural se convierten en los principales agentes contaminantes.
- Tinajones – 2: Esta ubicado en la parte más profunda de la quebrada de Tinajones, cerca al pozo de agua subterránea MAS-36. La vegetación en esta zona es nula. Respecto a las fuentes de emisión de material particulado en esta zona se debe a la presencia de vehículos ligeros y pesados y la erosión natural.
- Tinajones – 3: Se le puede localizar en el peaje de la Variante de Uchumayo, en esta zona existe presencia de vegetación, principalmente por la existencia de actividades agrícolas. La presencia de material particulado se debe al tránsito de vehículos, actividades humanas y a la erosión natural.
- Tinajones – 4: Se ubica en el túnel del PPJJ Cerro Verde, en la salida de las canteras de agregados. Esta zona no tiene presencia de vegetación. Las fuentes de emisión de material particulado se deben al tránsito de vehículos, las actividades referidas a la extracción de agregados y la erosión de la zona.
- Siete vueltas – 1: Se ubica en la parte alta de un cerro, a 400 metros de la zona “Halcón 9”. Esta zona no tiene presencia de vegetación. Las fuentes que emiten material particulado en esta zona son los vehículos y la erosión eólica natural, puesto que se han detectado vientos mayores a 5 m/s.

- Siete vueltas – 2: Se ubica en el techo de un colegio de dos pisos en el distrito de Socabaya, este punto se encuentra a pocos metros de una vía con alto tránsito vehicular. Las fuentes de emisión de partículas se deben a la calidad del aire sobre todo por los vehículos que circulan en la zona.
- Querendosa – 1: Se ubica en el techo de una casa de un solo piso en un área ligeramente poblada. Esta zona cuenta con presencia de viviendas y chacras. Las fuentes de emisión de material particulado son los vehículos que transitan cerca del punto.
- Querendosa – 2: Se ubica en la parte superior de un cerro a un kilómetro de la zona de “Halcón 9”. En la zona hay presencia de vegetación. Las fuentes de emisión de material particulado se deben principalmente a la erosión natural, debido a que se ha detectado fuertes viento en la zona.
- Querendosa – 3: Se ubica cerca de un área de ladrilleras e invasiones, esta zona está semi poblada, cercana a una carretera asfaltada con presencia de vehículos. La vegetación en esta zona es escasa. Las fuentes de material particulado tienen su origen en el tránsito de vehículos y las actividades relacionadas a las ladrilleras.
- Querendosa – 4: Se ubica en la zona oeste de la localidad de Yarabamba. La zona cuenta con una presencia reducida de vegetación. Las fuentes de material particulado tienen su origen en la erosión eólica natural del área.
- Cañón Roto – 1: Se encuentra en la localidad de San Camilo. Esta área es árida sin presencia de vida vegetal. Las fuentes de material particulado tienen su origen en las actividades humanas en la zona.

- Cañón Roto – 2: Se encuentra a 10 km. de la operación minera SMCV. La zona se ubica en un área árida con presencia de vegetación. Las fuentes de material particulado tienen su origen en las actividades humanas.
- Del ataque – 1: Se encuentra a 500 m. de la carretera Panamericana Sur. Esta zona no tiene ninguna presencia vegetal. Las fuentes de material particulado tienen su origen principal en el tránsito de vehículos
- Del ataque – 2: Se ubica a 4 km. al oeste de la operación minera SMCV. Esta zona es un área desértica. Las fuentes de material particulado tienen su origen principal en la erosión eólica natural.
- Del ataque – 3: Se ubica dentro de la infraestructura de la Planta de Concreto del GRA, en esta zona no existe presencia de vegetación. Las fuentes de material particulado tienen su origen principal en el tránsito de vehículos y las actividades relacionadas a la planta de concreto.
- La Joya (CACV2-1): Se ubica en la Estación de Transferencia La Joya.
- Virgen de Las Peñas (CACV2-2): Se ubica en el distrito de Tiabaya, cerca de las líneas férreas.
- Tingo Grande (CACV2-3): Está ubicado en el distrito de Jacobo Hunter.
- La Mansión (CACV2-4): Este se encuentra en el distrito de Socabaya.

#### **2.1.4 Pequeña minería e impacto ambiental**

De acuerdo con Quarm et al. (2022), la minería artesanal o de pequeña escala (ASM, por sus siglas en inglés) es una forma de subsistencia de extracción de recursos minerales que utiliza métodos manuales intensivos, como herramientas manuales. Se reconoce como una fuente considerable de ingresos para millones de personas en más de 80 países en todo el mundo y en diferentes regiones del mundo, especialmente en África subsahariana, Oceanía, Asia y América del Sur y Central.

Anning et al. (2022), informa que el número de personas directamente involucradas en la minería de pequeña escala se ha más que duplicado entre 1999 y 2014 como resultado del aumento de los precios de los minerales y la dificultad de ganarse la vida con actividades alternativas como la agricultura. Se informó que entre el 5 y el 20 % de la población en la mayoría de los países sudamericanos está directamente involucrada en la minería de pequeña escala

Quarm et al. (2022), indican que, a pesar de los puntos de vista contradictorios, la minería de pequeña escala sigue siendo una de las ocupaciones más difíciles, sucias y peligrosas que provocan muertes graves y representan riesgos para los propios mineros y las personas de las comunidades mineras. Esto emana de los métodos de operación y los efectos de la minería en el entorno natural. Un proceso típico de minería implica la excavación de rocas o gravas que contienen minerales, el transporte de las rocas/gravas y la recuperación para obtener oro, todo este proceso genera una contaminación importante del aire a través del polvo particulado.

Anning et al. (2022), indican que mientras que el proceso de excavación comúnmente resulta en la destrucción de la vegetación, el proceso de recuperación generalmente descarga efluentes contaminados en los arroyos y el medio ambiente natural. La MAPE causa otros impactos, como problemas de seguridad y protección, problemas ambientales y de salud, como contaminación y envenenamiento por mercurio, degradación de la tierra, contaminación y daño a la biodiversidad.

Anning et al. (2022), señalan que los impactos ambientales de la MAPE y sus consecuencias de salud y seguridad asociadas para los trabajadores y miembros de la comunidad podrían atribuirse a la falta de conocimiento del impacto de la actividad,

restricciones económicas, tecnología deficiente, falta de aplicación de la ley y legislación ambiental inadecuada.

## ***2.2. Antecedentes de Investigación***

**Durán y Peña (2018)** en su estudio “**Métodos de supresión de polvo para evitar el gasto excesivo del recurso hídrico en la minería**”, tuvieron como objetivo reducir la utilización de agua como supresor en las vías que transportan mineral mediante métodos que mejoren su uso. Los autores sostienen que en las actividades mineras se producen diversos problemas que afectan la calidad ambiental, uno de ellos es la generación de partículas de polvo, en donde se hace necesario aplicar tecnologías para mitigar y reducir el gasto hídrico producido en la minería chilena en términos globales. Los autores llegaron a la conclusión que existen diferentes tipos de soluciones entre ellas el reemplazo del recurso hídrico por productos industriales mejorando incluso las funciones que cumple el agua para esta tarea.

**Sadeghi et al. (2017)** en su estudio “**Continuous variation of wind drift and evaporation losses under a linear move irrigation system**”, buscaron determinar la variación continua de la deriva del viento y las pérdidas por evaporación bajo un sistema de riego de movimiento lineal, siendo el objetivo medir la aplicación de la profundidad del agua en sistemas de riego por aspersión monitoreando la variación continua de la deriva del viento y las pérdidas por evaporación (WDEL) bajo condiciones climáticas cambiantes. Siendo un estudio de tipo cuantitativo de diseño experimental, se propuso construir tres franjas de recolección de agua impermeable, larga y paralela debajo de un sistema de riego de movimiento lineal estacionario. Los resultados mostraron que el SDE (eficiencia de descarga de rociadores) de 5 min es muy dinámico y puede experimentar cambios abruptos de hasta un 16.5% como resultado de cambios repentinos en la velocidad y dirección del viento. La SDE5min máxima y

mínima observada durante el período de estudio fueron 97,5 y 73,6%, respectivamente. La diferencia entre SDE5min máxima y mínima durante un ciclo día / noche se controló mediante la radiación solar y la velocidad máxima del viento. El SDE promedio por hora (SDEhr) para los datos recolectados antes del amanecer, mañana, tarde y noche fueron 89.5, 87.7, 86.9 y 88.8%, respectivamente. Se concluyó que la SDE diaria se controló principalmente por la temperatura del aire y varió entre 81,8 y 91,8%, lo que indica que entre el 8% y el 18% del agua aplicada diaria se perdió en promedio.

**Cooper et al. (2014)** en su estudio “**CFD modelling of ventilation and dust flow behaviour above an underground bin and the design of an innovative dust mitigation system**”, buscaron mitigar la contaminación por polvo en la vía de entrada de la mina, siendo el objetivo realizar un modelado CFD de la ventilación y el comportamiento del flujo de polvo sobre un contenedor subterráneo y el diseño de un innovador sistema de mitigación de polvo. Siendo un estudio de tipo cuantitativo de diseño no experimental, en base en los resultados del modelado, se propusieron dos posibles soluciones para el control del polvo, una es modificar el sistema de ventilación para diluir las partículas de polvo respirables y la otra es usar goteros de polvo de agua nebulizada para suprimir y capturar la mayoría de las partículas de polvo. Los resultados del modelado indicaron que las partículas de polvo respirable podrían diluirse significativamente al nivel de respiración de los operadores aumentando el volumen de ventilación de la entrada de aire horizontal, donde se sugirió que 10-13 m<sup>3</sup> / s de caudal de aire era una cantidad preferible. El mecanismo de captura de polvo respirable utilizando agua nebulizada se investigó a partir de la teoría clásica y la teoría del flujo de dos fases, respectivamente, las cuales demostraron que se podía lograr un buen efecto de mitigación del polvo. Podemos concluir mediante una evaluación de polvo de campo independiente demostró que se logró una reducción de hasta un 68% de las

partículas de polvo respirable en las cercanías del contenedor subterráneo, y un promedio de 40% de reducción de polvo respirable a lo largo de la vía de la cinta.

**Priyabrata (2021)** en su estudio “**Performance evaluation of solar PV pumping system for providing irrigation through micro-irrigation techniques using surface water resources in hot arid region of India**”, buscaron evaluar el rendimiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico para proporcionar riego, siendo el objetivo utilizar técnicas de micro irrigación utilizando recursos de agua superficial en la región cálida y árida de la India. Siendo un estudio de tipo cuantitativo de diseño no experimental, se propuso evaluar el rendimiento de las bombas solares fotovoltaicas de tamaño pequeño de 1 HP de capacidad para elevar e irrigar los recursos de agua poco profunda utilizando sistemas de riego presurizados. Los resultados mostraron que un sistema de bombeo fotovoltaico solar de 1 HP, ya sea de tipo CA o CC, podría usarse con éxito para operar mini aspersores, microaspersores y goteros con buena uniformidad de riego. Además, se diseñó un módulo autosostenible para el uso sostenible del agua y la energía en el que tanto el agua como la energía se recolectan y reciclan. El análisis del costo del ciclo de vida mostró que el sistema de bombeo fotovoltaico solar de 1 HP (CC) era ligeramente más barato que el sistema de bombeo de CA correspondiente. Podemos concluir que los sistemas de bombeo fotovoltaico solar de 1 HP podrían ser una solución viable para los agricultores pequeños y marginales en el contexto de la situación de escasez de agua en un futuro próximo.

**Yabar (2020)** en su investigación “**Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en la planta chancadora del área San Nicolás – Marcona**”, tuvo como objetivo reducir la contaminación del medio ambiente y la exposición y afectación de las personas a través de la implementación de sistemas de reducción de polvo de hierro en equipamientos para la trituración de piedras. La investigación es de tipo aplicada,

con un diseño preexperimental. El método que se utilizó en la investigación fue de tipo cuantitativo, mientras que el proceso de datos se utilizó estadística de tipo descriptivo e inferencial. Los resultados fueron que aplicando un sistema de reducción de polvo mineral permite reducir las afecciones sanitarias del personal, así como la polución del ambiente en donde se desarrolla la actividad productiva. Se puede reducir de manera eficiente hasta el límite máximo necesario respecto a la calidad ambiental y la exposición de las partículas de polvo respirable o inhalable en la planta de chancado

**Guivar y Zelada (2018)** en su investigación “**Estudio comparativo de supresores de polvo dasaut, dl10 plus y knockout dustply para la mitigación de material particulado en vías Yanacocha 2018**”, buscaron realizar una evaluación del rendimiento de tres productos dasaut, dl10 plus y knockout dustply, siendo el objetivo aplicarlos en zonas estratégicas donde se producen emisiones de polvo en forma de partículas como vía pasamayo (dasaut), vía oficinas la quinua (dl10 plus) y ex marte (knockout dustply). Siendo un estudio de tipo cuantitativo de diseño no experimental, se propuso realizar una prueba con el supresor dasaut en la vía pasamayo, teniendo en cuenta la dosis establecida en su ficha técnica. Los resultados mostraron que Dasaut tuvo resultados satisfactorios en donde el ratio de adición de 2,0 ml/l, con ratio de riego de 0,9 ml/m<sup>2</sup> no presento efectos desfavorables en el ambiente, así también se observó que los riegos disminuyeron de 10 a 3 aplicaciones, entonces se puede decir que se reducen en un 70% el consumo de agua. La aplicación de dl10 plus ha tenido resultados satisfactorios con respecto al ratio de adición que es 1,1 ml/l, con una ratio de riego de 0,5 ml/m<sup>2</sup>, como es un producto totalmente biodegradable no se hizo presente ningún efecto perjudicial contra el ambiente. Se puede concluir que aplicando sistemas de bombeo fotovoltaico de tipo solar 1 HP se obtiene soluciones adecuadas para realidades en donde la escasez de agua sea un problema inmediato.

**Pacheco et al. (2020)** en su investigación “**Diseño de un sistema para el control de polvo en plantas de agregados en Arequipa**”, su finalidad fue implementar un sistema de operaciones que regule la mitigación del polvo producido en una planta de agregados. El método que se utilizó se realizó a través de la comparación de tres opciones diferentes. El método escogido se realizó a través de obtener un resultado favorable en la reducción de las partículas de polvo, ello se logró instalando un sistema de aspersores en los puntos en donde se generaban mayor cantidad de partículas de polvo al momento de ejecutar la actividad productiva. Se concluyó que a través de la implementación de sistemas de aspersores se puede reducir la emisión de polvo a la naturaleza, el agua utilizada se obtuvo de las fuentes hídricas acumuladas en los tanques de la empresa, debido a ello se disminuye el impacto ambiental y se protege la salud de los operarios.

El diseño de un sistema para el control de polvo producido en las plantas de agregados. El método utilizado se dio mediante la comparación de tres alternativas distintas. El diseño seleccionado a partir del resultado de la evaluación es el sistema de mitigación de polvo mediante la instalación de aspersores en los puntos de transferencia de material donde se genera la mayor cantidad de polvo. Se concluye que la instalación del sistema de aspersores reduce la emisión de polvo al medio ambiente, mediante la utilización de agua almacenada en un tanque ya existente en la planta, disminuyendo el riesgo de contaminación y protegiendo la salud de los trabajadores.



### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Alcances y limitaciones**

##### **3.1.1 Alcances de la investigación**

Para el presente proyecto, los valores que fueron considerados son las partículas PM10, el número de muestras tomadas y los resultados de las mismas se tomó como información de referencia los suministrados por Knight Piésold Consultores S.A, publicados en el documento “Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde” en donde consideran la zona de estudio de esta investigación (área minera Tiabaya 25). Se buscó implementar una propuesta técnica y teórica de un sistema de control para mitigar el polvo. El alcance de esta investigación está en la elaboración de un sistema de control del consumo de agua, debido a ello los esfuerzos de cada capítulo se enfocan en su diseño, costo, medio de implementación y rendimiento.

El tiempo propuesto para la realización de esta tesis fue de 6 meses.

##### **3.1.2 Limitaciones de la investigación**

La principal limitación de esta investigación son los aspectos relacionados a las cantidades de partículas PM10 encontrados in situ en el área de estudio seleccionada, debido a ello esta información se toma como referencia en base a una investigación previa (la realizada por Knight Piésold Consultores S.A) como datos de referencia.

#### **3.2. Tipo y diseño de investigación**

Según Hernández et al. (2016), el tipo de investigación utilizado es el aplicado debido a que se realizó una recopilación de información en un tiempo determinado, la finalidad fue describir variables y analizarlas en el tiempo correcto, comparándolas con conocimientos previos validados. En esta investigación la

información bibliográfica fue determinada previamente para conocer los criterios y variables necesarios de la gestión de residuos orgánicos, posteriormente se aplicó estos criterios para realizar esta investigación.

La presente investigación corresponde a un diseño experimental de corte transversal. De acuerdo con Hernández et al. (2016), su finalidad es manipular de forma consciente las variables independientes en una investigación para poder apreciar sus efectos sobre las variables dependientes tomadas en el estudio. Todo este análisis se realizó de forma controlada.

### **3.3. Población y muestra**

Puesto que la matriz de operacionalización de variables se considera como variable dependiente a las rutas de acarreo, se considera sus características como vía (ancho operativo, capa de rodadura, cunetas, gibas, sangrías, etc.), no está enfocado a la obtención de datos de partículas PM10 in situ. Debido a ello:

#### **Muestra**

Se consideró como área de estudio la vía principal de ingreso a la concesión minera Tiabaya 25. La muestra fue conformada por la ruta de acarreo de ingreso a la operación minera la cual cuenta con una longitud de 1945.10 metros lineales (desde el punto A hasta el punto B).

Las coordenadas WGS84 (GPS) del punto A son:

Long: - 71.605538 y Lat: -16.576652.

Las coordenadas WGS84 (GPS) del punto B son:

Long: - 71.593666 y Lat: -16.564905.

Se consideró esta muestra por su significancia en cuanto a longitud, la cual es lo suficientemente representativa para implementar y evaluar un sistema inteligente de riego por aspersion.

### 3.4. Método, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Esta primera etapa tiene como objetivo conocer cuál es la característica del tramo de transporte principal de ingreso a la concesión minera Tiabaya 25.

#### 3.4.1 Ubicación de la zona de estudio

##### Figura 7

*Tramo de acarreo seleccionado (Desde A hasta B)*



Nota: Elaborado a partir de la vista satelital de Google Earth

La zona de estudio está ubicada en las afueras de Arequipa, en la concesión minera denominada Tiabaya 25, esta se encuentra ubicada en la provincia de Arequipa, departamento y región de Arequipa al sur del Perú. Esta concesión minera se encuentra ubicada entre las quebradas Huayrondo, Tinajones, Cerro Verde, San José y Linga. El plan de minado de esta concesión minera se ha desarrollado con el objetivo de proporcionar mineral a una concentradora, el cual

tiene un circuito de chancado primario con una chancadora y un sistema de vías que permite la descarga a pilas de almacenamiento de mineral grueso, una vez almacenado el material, este deberá de continuar hacia un circuito de chancado secundario y terciario mediante fajas de distribución. La producción principal de este predio minero es molibdeno y cobre.

Siendo sus coordenadas:

WGS84 (GPS): Long: - 71.589647 y Lat: -16.559359.

Este yacimiento tiene un área de influencia sobre los distritos de Uchumayo, Tiabaya, Yarabamba y la Joya en la Provincia de Arequipa.

El tramo total de acarreo de material escogido cuenta con una longitud de 1945.10 metros lineales (desde el punto A hasta el punto B).

Las coordenadas WGS84 (GPS) del punto A son:

Long: - 71.605538 y Lat: -16.576652.

Las coordenadas WGS84 (GPS) del punto B son:

Long: - 71.593666 y Lat: -16.564905.

Se tomó como criterio la elección de este tramo debido a las siguientes

razones:

### **Figura 8**

*Tramo de acarreo seleccionado (Punto A)*



Nota: Elaborado a partir de la vista satelital de Google Earth

El punto A se ha convertido para la operación minera en un lugar de reabastecimiento, debido a ello, hay un constante flujo de transporte de materiales y equipos de este punto con la mina. Lógicamente, estas operaciones favorecen al levantamiento de partículas en el trayecto con el punto B, que es el ingreso de la mina.

**Figura 9**

*Tramo de acarreo seleccionado (Punto B)*



Nota: Elaborado a partir de la vista satelital de Google Earth

El punto B se consideró como el ingreso a la operación minera, a partir de este punto es que se distribuyen todas las áreas del yacimiento. Por ser un punto céntrico la cantidad de movimiento que se produce en esta zona es intenso. Por ello se ve por conveniente aplicar la propuesta en los trayectos mencionados.

Es necesario caracterizar la vía en función a su clase, tipo y mantenimiento como se muestra a continuación:

**Tabla 2.**

*Características de tramos de transporte para acarreo de material*

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	VÍAS DE ACARREO	
	TIPOS	CARACTERÍSTICAS
CLASES DE VÍAS	Vía de acarreo estándar	<p>Ancho operativo &gt; 3 veces el ancho del equipo de acarreo más grande</p> <p>Permite el tránsito de 2 volquetes en simultaneo en ambos sentidos</p> <p>Capa de rodadura uniforme</p> <p>Existen cunetas: limpias y en buen estado</p>
	Vía de acarreo subestándar	<p>Vías de acarreo sin ancho operativo requerido</p> <p>Vías de acarreo con empozamiento de agua</p> <p>Vías encalaminadas</p> <p>Vías resbalosas</p>
	Vía de acarreo tipo Crown	<p>Lomo en medio de la vía</p> <p>Presencia de cunetas en ambas vías</p> <p>Acarreo de material intensivo</p>

TIPOS DE VÍA SEGÚN SECCIÓN	Vía de acarreo con sección - pendiente a un lado	Solo una cuneta al lado de la vía Acarreo de material bajo o intermedio
	Vía de acarreo con sección doble	Vía de acarreo con doble sentido Ancho operativo para 2 camiones
MANTENIMIENTO DE VÍAS	Acciones para mantener para asegurar la transitabilidad y diseño estándar	Construcción de cunetas
		Construcción de gibas
		Construcción de sangrías

Nota: Tomado de Marinovich (2016)

### 3.4.2 Análisis y descripción de los efectos que ocasiona la polución al ambiente

Se tomó el método de Rojano (2017) y el MINAM – Calidad del aire (2014), en donde se clasificó y describió las características de los impactos del material particulado en las siguientes dimensiones: salud, cuerpos de agua, visibilidad, materiales y clima.

Los valores de las partículas PM10, el número de muestras tomadas y los resultados de las mismas se tomó como información de referencia los suministrados por Knight Piésold Consultores S.A, publicados en el documento “Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde” en donde consideran la zona de estudio de esta investigación (área minera Tiabaya 25).

**Tabla 3.**

*Características de los impactos del material particulado*

IMPACTOS DE MATERIAL PARTICULADO	TIPOS DE POLUCIÓN AL AMBIENTE	
	TIPOS	CARACTERÍSTICAS

IMPACTO SOBRE LA SALUD	Tamaño de partículas	Diámetro 2.5 y 10 $\mu\text{m}$ Diámetro menor a 2.5 $\mu\text{m}$ Diámetros menores a 1 $\mu\text{m}$
	Tipo de material particulado	Ultrafinas ( $\text{PM}_{0,1}$ ) Finas ( $\leq \text{PM}_{2,5}$ ) Gruesas ( $\text{PM}_{2,5}\text{-PM}_{10}$ )
IMPACTO SOBRE LOS CUERPOS DE AGUA	Sedimentaciones	Concentración de metales pesados Características sedimentológicas Toxicidad
	Precipitación húmeda	Temperatura Humedad relativa Viento
IMPACTOS SOBRE LA VISIBILIDAD	Rango de visibilidad	Difracción Refracción Fase de cambio
IMPACTOS SOBRE LOS MATERIALES	Contaminantes gaseosos	Material particulado Sustancias químicas Tipo de deposición
IMPACTOS SOBRE EL CLIMA	Núcleos de condensación de nubes	Grado de absorción(albedo)
		Fase de dispersión

Nota: Tomado de Marinovich (2016)

### 3.4.3 Requerimientos de hardware y software para el diseño del sistema riego inteligente

Se consideraron tres etapas:

- Recopilación de información: Este paso fue necesario para poder recopilar toda la información relacionada a la técnica de implementación del sistema de automatización.
- Construcción del sistema de riego para la mitigación del polvo: Se realizó una valorización y análisis de los componentes necesarios para la construcción del sistema de control del sistema de riego inteligente.
- Implementación: Se implementó los sensores necesarios en el sistema (humedad), los actuadores y el sistema IoT para recolectar la información.

Para la realización del objetivo específico 2: Diseñar y confeccionar el sistema de riego inteligente en base a los requerimientos establecidos, se consideraron:

- Componentes del sistema de riego inteligente: Sensores de temperatura y humedad (higrómetro), electroválvulas, bombas de agua, Placa Arduino Mega y/o módulo ESP8266, módulos WIFI ESP8266, módulos relé y plataformas THINGr.IO.
- Software de procesamientos de datos: Se seleccionó la plataforma más adecuada para registrar la información de los componentes identificados anteriormente, esta plataforma vino incorporada con una cantidad importante de librerías de acceso abierto y poseer un sistema IoT que facilitó la conexión a internet.
- Instalación de la estación de monitoreo: Se realizó una instalación experimental para corroborar si tanto los componentes del sistema de riego inteligente como el software de procesamiento de datos funcionan correctamente.
- Recolección de datos: Se recolectó la información de la plataforma elegida (datos de temperatura y humedad) y posteriormente se analizó e interpretó los datos obtenidos.

Los implementos necesarios (hardware y software) son los siguientes:

#### **Hardware del sistema de control**

- Arduino mega: Este es el microcontrolador más eficiente de toda la familia Arduino, debido a que está conformado por 54 pines digitales, los cuales funcionan como ingresos y salidas, además posee entradas análogas (16), cristales osciladores (16MHz), conexiones LAN y USB, así como botones de

reinicio. La forma como se pueden administrar los datos se da de forma eficiente a través de conexiones USB.

Este Hardware posee las siguientes características: Microcontrolador:

ATmega2560, voltaje operativo: 5V, voltaje de entrada: 7-12V, voltaje de entrada(límites): 6-20V, pines digitales de entrada/salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM), pines análogos de entrada: 16, corriente DC por cada pin entrada/salida: 40 mA, corriente DC entregada en el pin 3.3V: 50 mA, memoria flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader), SRAM: 8KB, EEPROM: 4KB, clock speed: 16 MHz.

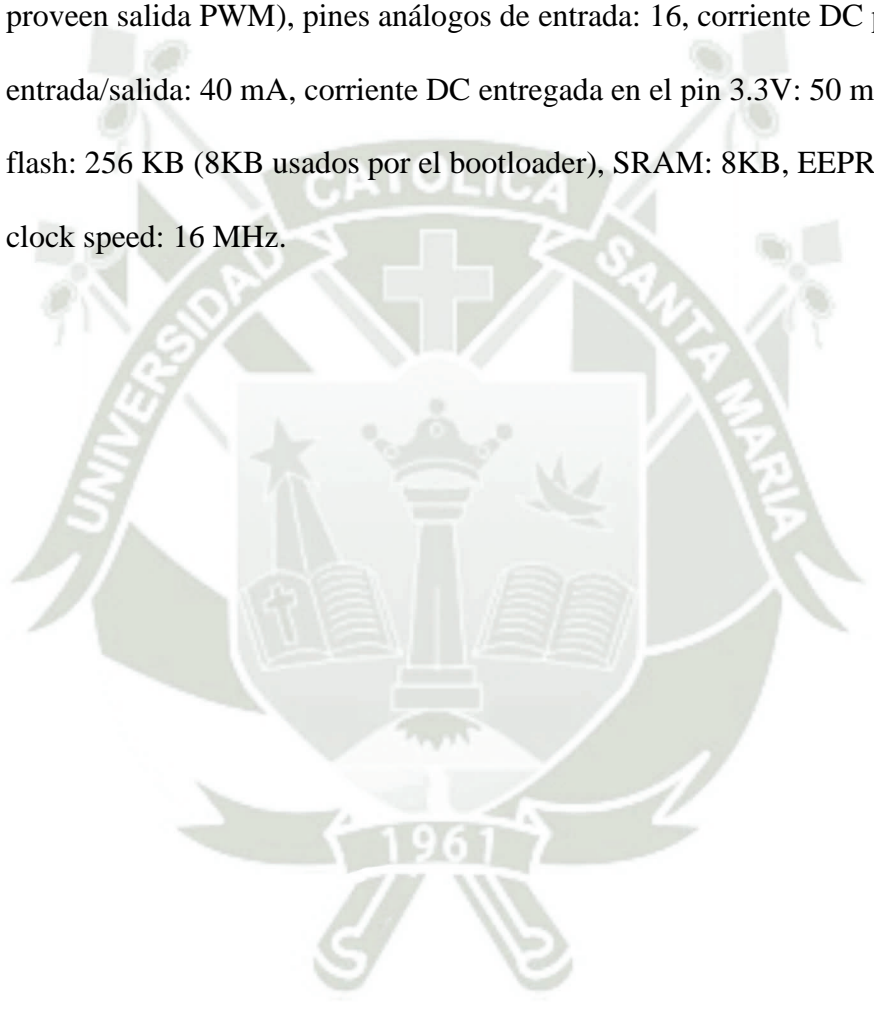
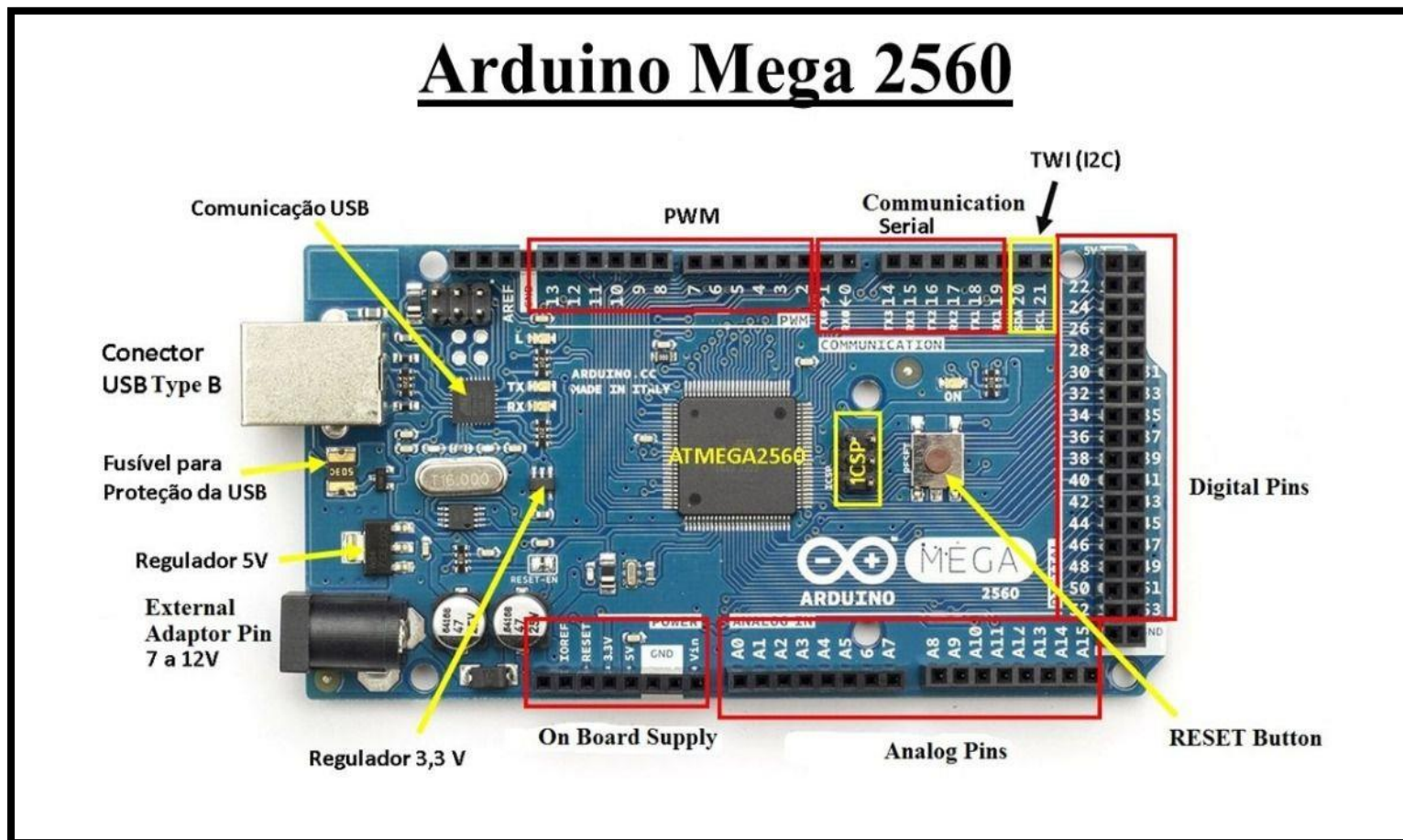


Figura 10.

Diagrama de pines Arduino Mega

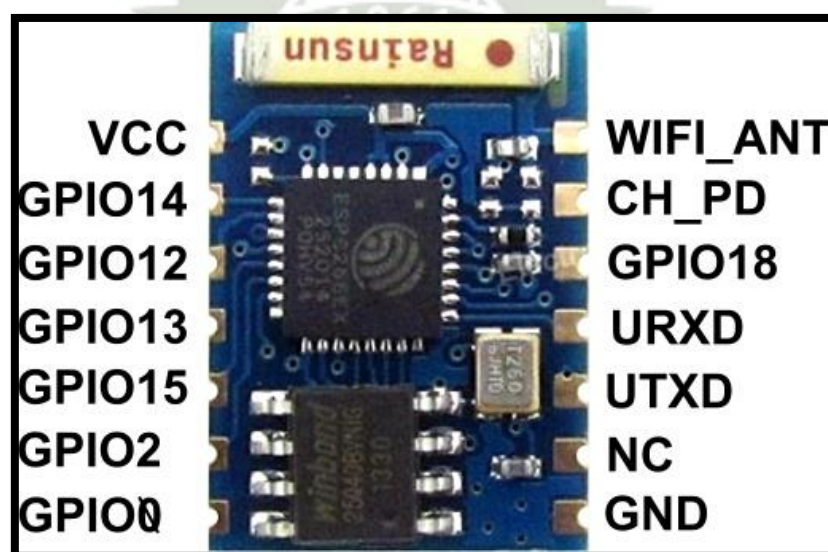


Nota: Tomado de la página EBAY

- Módulo WIFI ESP8266: Este es un módulo Wifi asequible, el cual es compatible con los microcontroladores TCP/IP. Funciona a 3 velocidades con un voltaje estimado de 3.6V. Usualmente tiene el nombre de transceptor inalámbrico ESP8266. Este sistema tiene la ventaja respecto a otros en términos de velocidad de procesamiento y capacidad de almacenamiento. Su adaptabilidad con otros dispositivos lo catalogan como la mejor opción para su empleabilidad en sistemas operativos. Respecto a sus especificaciones técnicas se puede mencionar que funciona con un sistema a base de chips (SoC) y con un microcontrolador Tensilica de 32 bits, tiene interruptores de antena, amplificadores de potencia, interfaces periféricas digitales estándar, amplificadores de recepción de bajo ruido, módulo de potencia y capacidades de filtro. El procesador se basa en Tensilica Xtensa Diamond Standard 106Micro y funciona a 80 MHz, incorporando 64 ROM de arranque KiB, 80 RAM de datos de usuario KiB y 32 RAM de instrucciones KiB.

**Figura 11**

*ESP8266 PINES*

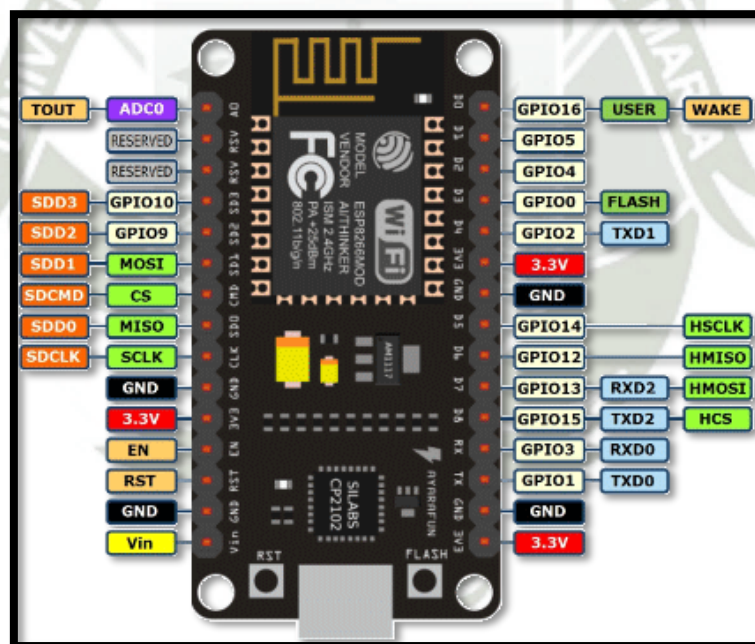


Nota: Tomado de la página EBAY

- NODEMCU: Este es un micro controlador que se basa en ESP8266, conformada por una placa diminuta que tiene expuesto todos sus pines laterales, el cual está incorporado con un regulador integrado, además de poseer un cable USB de conexión. El micro controlador Arduino es compatible con este dispositivo. Las características técnicas de este dispositivo son: Tiene un procesador ESP8266 @ 80MHz (3.3V), una memoria de 4 MB, un regulador 3.3V integrado, un conversor USB-Serial CH340G, una función de reinicio, 9 pines GPIO, una entrada analógica, 4 agujeros de montaje y una alimentación externa VIN (20V).

**Figura 12.**

*NODEMCU PINES*



Nota: Tomado de la página EBAY

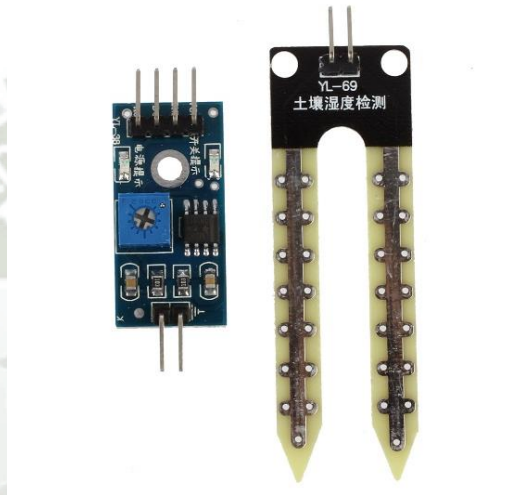
### **Sensor detector de humedad – Higrómetro**

Este dispositivo será utilizado para poder medir el contenido de humedad en el ambiente exterior, ya sea el que se encuentre en el aire o en el suelo. La implementación de un módulo es necesaria para alcanzar el valor umbral en el suelo, para ello se hace

uso de una salida digital D0 el cual se conecta de forma directa con el micro controlador para detectar la alta o baja humedad en el suelo. También se puede emplear salidas analógicas y módulos AD conectados a un convertidor AD. Esto permitirá que se obtengan valores más exactos relacionados a la humedad.

### Figura 13

#### *Higrómetro – Sensor Humedad Tierra*



Nota: Tomado de la página EBAY

Las características de este dispositivo son: Tiene una tensión de funcionamiento de 3.3 V y 5 V, una sensibilidad ajustable, módulos de salida duales de tipo analógicas más precisas, un agujero de perno fijo para su instalación, indicadores de alimentación (color rojo) e indicadores de salida digitales (color verde), chips comparadores (LM393), panel PCB de 3 cm x 1.5 cm y una sonda para el suelo de un tamaño de 6 cm x 2 cm.

### Actuadores

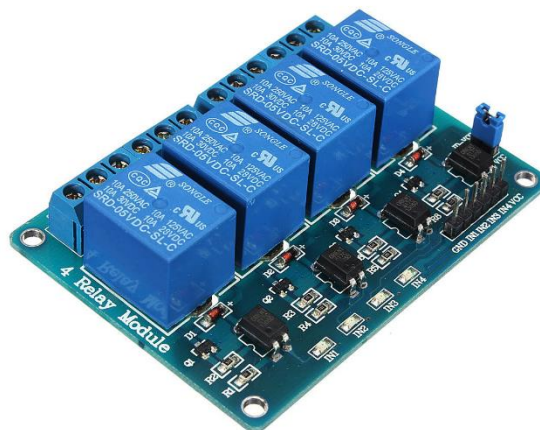
Los actuadores son equipos que producen diversos tipos de movimientos en relación a la consecuencia de las diferentes señales que emite el sensor. Estos dispositivos son empleados para poder controlar la información de un entorno

electrónico, permite automatizar de manera mecánica todos los requerimientos de los equipos de control. El micro controlador Arduino es compatible con las señales que emiten los actuadores. Esta unidad propuesta incluye los siguientes actuadores:

- Módulos relé: No es recomendable que el micro controlador Arduino o Nomdecu alimenten de forma directa a los actuadores de 220v, para ello es necesario implementar una fase previa de potencia en donde se podrán activar los actuadores sin ningún tipo de riesgo para las unidades de control. Esta fase previa se compone de un módulo relé, el cual tiene las siguientes características: Un voltaje de alimentación de 5 VDC, el cual se conecta de forma directa con un microcontrolador u otro circuito integrado, este módulo se activa con una señal de 0 VDC, posee un LED que funciona como un indicador para accionar las funciones de los dispositivos electrónicos, este módulo cuenta con un pin positivo (VCC), una señal y un pin negativo (GND), también tiene un soporte de corriente en contactos del relé (10A 250V).

**Figura 14**

*Módulo Relé para Arduino*



Nota: Tomado de la página EBAY

## Bomba de agua

Se utilizó una bomba centrífuga para realizar el bombeo y transporte de todos los líquidos que se utilizará para mitigar el polvo de las vías no asfaltadas a través de mangueras para diseño por goteo. Para ello se usará bombas de 2 HP y se evitará que las placas Arduino se quemen a través de la integración de una relay de 10 Amperios para 220 V. Las características de este dispositivo son: tiene un alcance mínimo de 23 m, un caudal de 130 L/min, con una bomba centrífuga, posee un voltaje DC 220 V, una corriente 6ª, un diámetro de succión 1 ¼", una potencia nominal de 72 W, el tipo de conexión es monofásico con un alcance máximo de 42.5 m.

### Figura 15.

*Bomba de agua 220V*



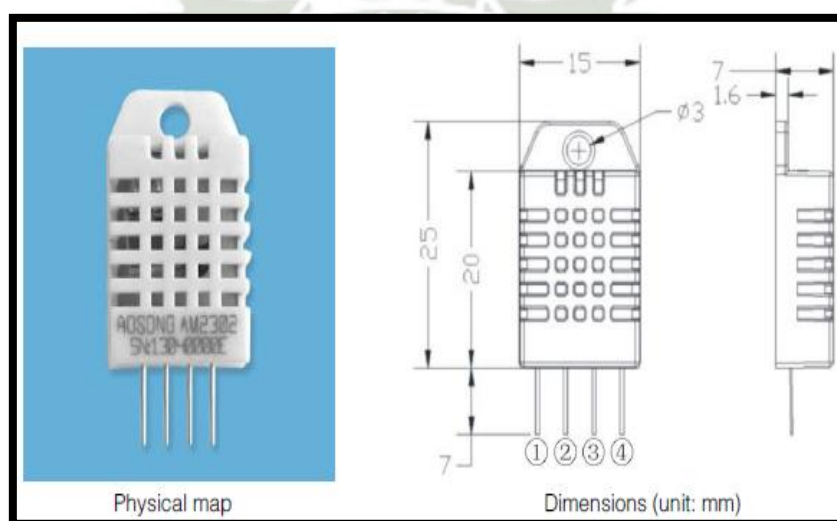
Nota: Tomado de la página EBAY

## Dispositivo de sensor de humedad

Para este proyecto se utilizó un sensor de humedad y temperatura ambiental de tipo DHT22/AM2302, el cual tienen un rango de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  respecto a la humedad tiene un rango entre 0% hasta 90%. Respecto a las características que se tomaron en cuenta para poder implementar este dispositivo fueron: Bajo costo, voltaje entre 3,3 hasta 5,5 VDC, una corriente máxima de 2.5 mA, al momento de recopilar los datos, las lecturas de humedad pueden leer en un rango entre 0 a 100%, la precisión al momento de leer el % de humedad va en un rango entre 2 a 5%, la frecuencia de muestreo máxima fue de 0,5 Hz (puede leer 1 dato cada 2 segundos). Las dimensiones de este dispositivo es de 15,1 x 25 x 7,7 mm, el consumo de energía es bajo. También se consideró que este sensor puede ofrecer un mayor rango para recopilar información además de ofrecer una adecuada precisión, su costo es accesible en términos económicos, además de que es posible obtener la información de forma eficiente.

**Figura 16.**

*Sensor de Humedad*



Nota: Tomado de la página EBAY

## **Conectividad**

Para poder hacer las conexiones en dispositivos IoT pueden realizarse desde aplicativos como Bluetooth, lo cual permite que haya un bajo consumo de LTE (hasta 4G) o LTE Advanced el cual permite que existan diversos tipos de comunicación en el sistema. Es necesario considerar que los dispositivos “wearable” y el tipo de conexión que se utilizarán para implementar los aspectos de seguridad, coste logístico y zonas geográficas.

## **Plataformas IoT**

Este término hace referencia a los dispositivos que se interconectan para generar un ecosistema propio. El cual debe de conectar todas las variables relacionadas con el software y el hardware en donde se deben de identificar los diferentes puntos de acceso y redes de datos. Este tipo de plataformas actualmente están en auge, en donde más del 70% de empresas lo ven como una oportunidad para los negocios. Las plataformas IoT se pueden clasificar en los siguientes: plataformas de conectividad/M2M, las cuales se centran en la conectividad de los dispositivos (redes de telecomunicaciones), también están los Backends IaaS, las cuales funcionan como servicio backends para proporcionar alojamiento y potencia de procesamiento de las diversas APPS. Estos backends pueden ser optimizados para que sean aplicados en escritorios y móviles, para ello pueden utilizarse softwares para empresas con sistemas operativos empresariales o comunes, por ejemplo, se pueden utilizar sistemas operativos como Microsoft Windows 10 que presenta una alta compatibilidad con los dispositivos IoT. Podemos mencionar las siguientes características de las plataformas IoT:

- **Conectividad y normalización:** A través de diferentes protocolos y formatos es que se puede proporcionar una interfaz en los distintos softwares para transmitir datos con todos los dispositivos.
- **Gestión:** esto permite asegurar que todos los elementos funcionen de forma adecuada.
- **Base de datos:** Es importante conocer cuál es la capacidad de almacenaje de los datos de estudio los cuales también podrían subirse a la nube de forma organizada, en base a criterios de variedad, velocidad y veracidad.
- **Procesamiento de datos:** Se definen las reglas de acción para poder ejecutar las acciones “inteligentes” las cuales estarán basadas en los datos que otorgue los sensores.
- **Analítica:** Esto se debe de desarrollar a través del análisis de distinta información recopilada por los sensores.
- **Visualización:** Permite que las personas puedan observar cuales son las características de la información recopilada (visualización, graficación).
- **Herramientas adicionales:** Esta plataforma permite desarrollar diferentes tipos de prototipos para comercializar, visualizar, gestionar los diferentes dispositivos.
- **Interfaces externas:** Se integran con los sistemas de 3era parte y el resto del ancho de TI en los ecosistemas a través de una función de los diferentes tipos de interfaces de programación (API, SSDK).

### **Plataformas THINGer.IO**

Esta plataforma se caracteriza por poseer un código abierto, el cual puede utilizarse mediante servidores propios como GitHub, el cual puede ser instalado de forma gratuita utilizando las herramientas de la nube. La programación es sencilla

porque se tiene a disposición la librería oficial de Arduino el cual es compatible con ESP8266, Raspberry Pi o Intel Edison. Esta plataforma tiene una consola que permite administrar y geolocalizar los objetos conectados, además se puede obtener un feedback de los diferentes desarrolladores quienes son muy activos en la comodidad.

### **Computación en la nube**

La nube es un conjunto de herramientas virtuales que pueden utilizarse de forma fácil y rápida (hardware, plataformas de desarrollo y/o servicios). Todos estos elementos pueden ser modificados de forma constante para ajustarse a los requerimientos del usuario y de esta forma se puede utilizar de forma eficiente los recursos. Esta serie de herramientas se utilizan a través de diferentes modelos de servicios (Moisés Barrio, 2018).

### **Protocolo de comunicación WIFI**

WIFI es una tecnología que se fundamenta en IEEE802.11, el cual es una red de área local inalámbrica que posibilita que dos o más dispositivos puedan utilizar internet. Esta conexión se basa en un punto de acceso el cual tiene un área de influencia delimitada, dentro de esta área los usuarios pueden acceder a la red de datos. La mayoría de este tipo de redes utilizan una frecuencia de 2.4 GHz, en donde se pueden identificar 14 canales separados, algunos de ellos (canales 1, 6 y 11) presentan problemas menores en la interrupción, por ello la mayoría de desarrolladores de módems utilizan estos 3 canales como su canal Wifi predeterminado. También se sabe que Wifi no es la red más segura como las redes cableadas, por ello es imprescindible que se deba asegurar todas las redes con cifrados de seguridad.

#### **3.4.4 Análisis de costos**

Se consideró una tasa de interés anual del 12%, en donde se fijó que la vida útil del aspersor es de 5 años ya que puede variar entre 3 a 10 años. Se considera una tasa de interés anual del 12% debido a las fluctuaciones del tipo de interés del Banco Central, los cuales pueden fluctuar entre el 7 y el 12% por la recesión económica actual.

$$CF = CA FRC \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

CF: Costo fijo (soles por año)

CA: Costo unitario (soles)

FRC: Factor de recuperación de capital

Cálculo de Factor de recuperación de capital:

$$FRC = \frac{i(i+1)^N}{(i+1)^N - 1} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

i: tasa de interés anual real

N: vida útil del aspersor (años)

Para calcular el costo variable se deberá tomar en cuenta la potencia a la cual trabaja el aspersor, para ello será necesario observar los siguientes valores:

### **Figura 17.**

*Potencia por unidad de combustible (PPUC)*

Unidad de Potencia	Potencia generada
Diesel	4,0 HP – h L <sup>-1</sup>
Gasolina	2,8 HP – h L <sup>-1</sup>
Butano-propano	2,5 HP – h L <sup>-1</sup>
Gas natural	3,0 HP – h m <sup>-3</sup>
Eléctrica	1,2 HP – hr / KW – hr

Nota: Tomado de Zazueta (1992)

También se debe de considerar el número de operación, el costo de combustible, la eficiencia de la bomba y el factor de costo.

$$CEE = \frac{T_o C_c FEE}{E_b PPUC} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

CEE: costo anual equivalente de la energía (soles al año)

To: número de horas de operación por año (horas al año)

Cc: costo de combustible o energía (litro, soles o KW, soles)

Eb: eficiencia de la bomba (decimales)

PPUC: potencia generada por unidad de combustible (HP)

FEE: factor de costo equivalente de energía (decimales)

$$FEE = \frac{(1+e)^N - (1+i)^N}{(1+e) - (1+i)} \frac{i}{(1+i)^N - 1} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

i: tasa de interés anual real

e: tasa anual de aumento de costos de energía

Para el calcular el costo variable (CV), se consideró el caudal y la altura dinámica que incluye la presión de operación de los aspersores, las pérdidas de

carga referidas al sistema de distribución, la energía consumida y la diferencia de distancia, por ello se considera la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{CEE * Q * H_v}{102} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

CV: costo variable (soles por año)

Q: caudal del aspersor o de un grupo de aspersores (L.seg)

CEE: costo anual equivalente (soles por año)

H<sub>v</sub>: altura dinámica total (m.c.a.)

Para hallar el costo total se aplicaría la siguiente formula:

$$CT = CV + CF \quad (\text{Ec. 6})$$

### 3.4.5 Calculo del consumo de agua

Se utilizó el método cociente de evaporación, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$ETr = ET_o \times FT \times Kr \quad (\text{Ec. 7})$$

En donde:

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia

FT: Factor de evaporímetro (Valor teórico 0.8)

Kr: Coeficiente de desarrollo de riego (Valor teórico 0.5)

También es necesario determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) a través de la fórmula de Hargreaves & Samani (1985):

$$\frac{0.0023 (T+17.8)(T_{max}-T_{min})^{0.5} \cdot Ra}{\lambda} \quad (\text{Ec. 8})$$

En donde:

T: Temperatura promedio

Tmax: Temperatura máxima

Tmin: Temperatura mínima

Ra: Radiación solar extraterrestre

$\lambda$ : Calor latente de vaporización

Una vez obtenidos estos datos se determinó el coeficiente de Lámina de Riego (L.R.), a través de la siguiente expresión:

$$L. R. = \frac{E_{Tr}}{\text{Eficiencia de riego}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Finalmente se calculó el consumo de agua en volúmenes a través de la siguiente expresión:

$$\text{Volumen} = \text{Lamina de riego} \times \text{Área total de vía} \quad (\text{Ec. 10})$$

Para realizar la comparación del consumo de agua entre un riego tradicional con el sistema de aspersión propuesto bajo las mismas condiciones de evaporación y factores climáticos se reemplazó el factor eficiencia de riego y se volvió a realizar la operación de cálculo del volumen de consumo final de agua.

### 3.5. Plan de análisis estadístico de los datos

#### Utilización de procesadores computarizados

Los datos recogidos se realizaron en una hoja de cálculo Excel, esto fueron transcritos en una base de datos en SPSS v.24 para su posterior análisis e interpretación.

### **Pruebas estadísticas**

Se empleó la estadística descriptiva para presentar los resultados mediante cuadros y graficas estadísticas. Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico SPSS v.24. Según IBM (2016), el programa SPSS “Statistical Product and Service Solutions”, es un grupo de herramientas para analizar datos estadísticos. Así como la mayoría de productos que utilizan la interfaz de Windows, este programa utilizó menús desplegables con cuadros de dialogo, lo que permitió que su uso sea de fácil aplicación. Este programa es utilizado para poder capturar y analizar datos creando tablas y gráficos con información compleja. El SPSS es conocido por su capacidad de ordenar y gestionar una gran cantidad de información, realizando una serie de análisis de texto adaptable a otros tipos de formato de investigación.



## CAPITULO IV

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

##### 4.1 Análisis e interpretación de resultados

##### 4.1.1 Caracterización del tramo de estudio

###### Figura 18.

*Vista frontal del tramo seleccionado*



Nota: Fotografía de autoría propia

Clase de vía: De acuerdo a Marinovich (2016) y el Manual de Carreteras del MTC (2015), los tramos pueden clasificarse como vías de acarreo estándar o vías de acarreo subestándar según el estado en el cual se encuentren. La vía mostrada en la imagen anterior presenta las siguientes características:

- Defectos de enclaminado (hay presencia de ondulaciones en la superficie de rodamiento de la vía), los cuales pueden provocar diferencias en la velocidad y un ligero deslizamiento de los vehículos.
- El ancho operativo de la vía es insuficiente, esto debido a las precipitaciones o el uso intensivo, también se observa que la vía no cuenta con muretes que protejan la vía de desprendimientos, lo que reduce el ancho necesario. Los problemas que genera este tipo de vías son que se genera una mayor probabilidad de aparición de accidentes.

- Vías resbalosas: Este defecto se aprecia en temporadas de lluvia, de acuerdo con Marinovich (2016), cuando aparecen las precipitaciones pluviales, las partículas de agua inevitablemente se mezclan con el polvo de las vías formando una película que puede provocar accidentes de tránsito, ya que los neumáticos patinan o resbalan.

De acuerdo a las características descritas, se concluyó que la vía de estudio se puede clasificar como una vía de acarreo subestándar.

Tipos de vía según sección: De acuerdo a Marinovich (2016) y el Manual de Carreteras del MTC (2015), los tramos pueden clasificarse como vías de acarreo tipo Crown, como sección doble y como sección pendiente a un lado.

La vía analizada no corresponde con ninguno de los tramos antes mencionados por lo tanto se deberá de describir sus características particulares.

**Figura 19.**

*Vista frontal del tramo seleccionado*



Nota: Fotografía de autoría propia

El tramo seleccionado presento las siguientes características según su sección:

- Los tramos de la vía son irregulares: algunos anchos de vía alcanzan los 3.50 metros mientras en otras secciones se aprecia un ancho entre 3:10 a 3:30 metros. Esto se debe a que en el diseño de la vía de acarreo no se ha considerado un muro de seguridad y debido a ello el desprendimiento ha provocado que en algunas secciones el ancho operativo de vía se reduzca.
- El diseño de la vía se ha proyectado para que solo se utilice en una dirección: este tipo de diseño de alguna forma limita la operatividad en el transporte y operaciones mineras, sin embargo, no representa un defecto significativo de diseño si en el sistema general de vías se han dispuesto accesos alternativos.
- Elementos de seguridad de vías: Se ha observado que la vía seleccionada no cuenta con los elementos de seguridad necesarios señalados en los informes de Marinovich (2016) y el Manual de Carreteras del MTC (2015). Por ejemplo, estos manuales sugieren que las vías deben de disponer una pendiente de por los menos 2% para la caída de agua de lluvia, así como la presencia de por lo menos una cuneta para el flujo de líquidos o desprendimiento de taludes, y si la presencia de estos últimos está en secciones importantes de la vía se debe de procurar de construir muretes de seguridad.

Para la vía seleccionada, se consideró la aplicación de todos estos elementos que caracterizan el mantenimiento de la vía, puesto que permitieron mejorar la conservación, operatividad y seguridad y en el acarreo de materiales o equipos de la operación minera.

Respecto al equipamiento para el acarreo, se identificó que para el transporte se utiliza un promedio de 4 camiones en turnos de 8 horas durante el día. Los camiones tienen una capacidad de 20 tm.

**Figura 20.**

*Regado con camión cisterna*



Nota: Regadío antes de la implementación – Foto propia

**4.1.2 Análisis y descripción de los efectos que ocasiona la polución en el ambiente****Tipos de poluciones en el ambiente**

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2014), las partículas que generan las actividades de acarreo o transporte en diferentes operaciones productivas son un potencial peligro para crear problemas de salud. El tamaño de estas partículas afecta en distinta medida a la salud de las personas, las que son menores a 10 micrómetros afecta de forma significativa a los pulmones o incluso al torrente sanguíneo, mientras que las partículas más grandes (entre 2.5 a 10 micras) se sitúan en las vías respiratorias debido a que fácilmente pueden ser atrapadas por la nariz, la boca o la garganta.

De acuerdo con Kim et al. (2016) se pudo determinar que existe una relación entre la cantidad de material particulado dispuesto en el ambiente con el nivel de asma en niños y adultos. Incluso estas partículas afectan al desarrollo normal del embarazo, puesto que el crecimiento de los niños en la primera infancia se ve reducido.

De acuerdo con Rojano (2017), los materiales particulados representan un potencial peligro para la estabilidad de las zonas climáticas a donde son expuestas, debido al cambio de composición de la atmósfera y que las partículas de suspensión generan núcleos de condensación que originan nubes. Referente a la atmósfera, las partículas de aire generan tropopausa en la atmósfera, provocando que no se produzca un flujo de aire constante en la atmósfera (hay un aumento en la sensación térmica del ambiente).

#### **4.1.3 Problemas de polución identificados en el ambiente**

Para la realización de este análisis, se consideró realizar una comparativa entre los valores de aire permisibles de acuerdo al Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales referidos a la actividad minera y energética del MINAM (2014) y los valores de contaminación encontrados para este predio minero realizados por MINEM en el año 2011.

De acuerdo con MINEM (2011), se determinó las concentraciones de material particulado y gases en el predio minero seleccionado a través de la determinación de los niveles de concentración de contaminantes en el aire, los cuales se ven influenciados por variables topográficas, los cuales influyen en otras variables climáticas como la estabilidad atmosférica, dirección y velocidad del viento.

MINEM (2011), utilizó como método de trabajo la realización de seis muestreos, así como un monitoreo continuo de las estaciones climáticas Huayrondo y la Joya, además de contar con el respaldo de estaciones complementarias (Cerro Verde, Tiabaya, Quequeña, Hunter y Yarabamba). Los siete muestreos fueron realizados en dos temporadas diferenciadas: seca y húmeda, las cuales estuvieron a cargo de FSM Enviro Consulting e Inspectorate Services Perú S.A.C. y Corplab Perú S.A.C.

De acuerdo a MINEM (2011), se monitorearon los siguientes parámetros:

- Material particulado respirable de diámetro menor a 10 micras ( $PM_{10}$ )

- Material particulado respirable de diámetro menor a 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

**Figura 21.**

*Estaciones monitoreadas*

Muestreo	Punto	Fecha
Primero	Quebrada Linga	Octubre del 2007 y febrero del 2008
	Quebrada Maldita	
Segundo	San José	Octubre del 2009 y febrero del 2010
Tercero	Tinajones	Octubre del 2009 y febrero del 2010
Cuarto	Siete Vueltas	Abril y septiembre del 2010
	Querendosa	Abril y septiembre del 2010
Quinto	Cañón Roto	Septiembre del 2010 y mayo del 2011
Sexto	Del Ataque	Octubre del 2010 y mayo del 2011
Séptimo	La Joya V. de Las Peñas Tingo Grande La Mansión	Marzo y abril del 2011

Nota: Tomado de MINEM (2011)

En la figura anterior se puede ver los distintos puntos de muestreo, en cada uno de ellos es que se realizó las mediciones del material particulado y de gases durante un día entero. Cada uno de los puntos fueron instalados de acuerdo a los criterios de Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones del MINEM.

## 4.2. Resultados

Respecto al material particulado respirable de diámetro menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ), se tuvieron los siguientes resultados:

Las emisiones potenciales se relacionan con las actividades extractivas en la zona (ladrilleras) ubicadas a 4.5 km al NNO en relación a los distritos de Yarabamba y Quequeña. También se nota la presencia de grandes cantidades de vientos que transportan el material particulado a los distritos mencionados. Los niveles analizados para  $PM_{10}$  varían de forma importante entre valores de  $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (quebrada Linga) y  $274,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tinajones – 4). Respecto a las concentraciones de material particulado en las zonas identificadas también muestran una gran variabilidad en los niveles de concentraciones en donde la zona de Tinajones 4 ( $173,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Querendosa 3 ( $145,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fueron las más altas. Estos resultados también muestran que existe una relación directa entre la calidad del aire y las áreas de operación minera de la zona. Respecto a la zona de quebrada Maldita, las concentraciones alcanzaron valores de  $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , los cuales son valores muy por debajo de los máximos establecidos en los estándares de la calidad de aire.

Para las zonas de San José 1 y San José 2 presentan valores de  $35,1$  y  $73,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estas concentraciones se relacionan con la ubicación de los puntos de transporte de las operaciones mineras. También se puede observar que la erosión y el levantamiento de partículas originadas por el constante flujo de vehículos.

Para la zona de Tinajones, el punto Tinajones – 4 presenta un valor de  $173,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el punto Tinajones – 1 se observa un valor de  $84,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como resultado del flujo constante de vehículos. Los puntos Tinajones – 2 y Tinajones – 3, presentan concentraciones mínimas.

Para las zonas de Siete Vueltas 1 y Siete Vueltas 2 presentaron valores de 50.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 71.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. A pesar de que ambas zonas se encuentran en zonas en donde no hay presencia cercana de operaciones mineras, Siete Vueltas 2 alcanza valores mayores debido a que se encuentra cercana a una vía sin asfaltado, en donde el constante transporte de vehículos provoca una concentración de material particulado.

Para la zona Querendosa, el punto Querendosa – 3 alcanzó valores de 220.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras para el punto Querendosa – 4 se alcanzaron valores de 39.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Una de las posibles causas los altos valores en el punto Querendosa – 3 se debe a un constante tránsito de vehículos y las actividades desarrolladas por las ladrilleras.

En las zonas Cañón Roto – 1 y Cañón Roto – 2 presentaron valores de concentraciones de 9.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 72.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En las zonas Ataque – 1, Ataque – 2, Ataque – 3, presentaron valores de 44.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 12.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 66.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos valores se originan principalmente a la erosión natural en la zona.

Para las zonas La Joya, Virgen de las Peñas, Tingo Grande y la Mansión tuvieron valores diferenciados en donde el valor más alto le corresponde a la zona la Mansión con un valor de 85.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que el valor mínimo fue para la zona La Joya con un valor de 19.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Cabe resaltar que el monitoreo de las emisiones del material particulado respirable de diámetro menor a 10 micras (PM10) se realizó en los alrededores de la concesión minera Tiabaya 25, más no en el mismo predio minero, puesto que la problemática ambiental planteada en esta investigación se avoca a conocer el nivel de contaminación que produce el predio minero sobre los alrededores, puesto que se ha observado que entre los años 2007 – 2012 en los distritos de Uchumayo, Tiabaya, Yarabamba y la Joya se han

registrado 1900 casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, 495 por enfermedades cardiovasculares y 1222 admisiones por ataques de asma en niños, los cuales son atribuidos al PM10. (Knight Piésold Consultores S.A., 2014)

**Figura 22.**

*Regado con camión cisterna – generación de niebla de polvo por tránsito de camiones.*



Nota: Generación de niebla de polvo – Foto propia

**Figura 23.**

*Regado con sistema inteligente – generación de niebla de polvo por tránsito de camiones.*



Nota: Generación de niebla de polvo – Foto propia

#### **4.2.1. Resultados obtenidos: Diseño del sistema de riego inteligente en base a los requerimientos establecidos**

##### **Arquitectura del programa**

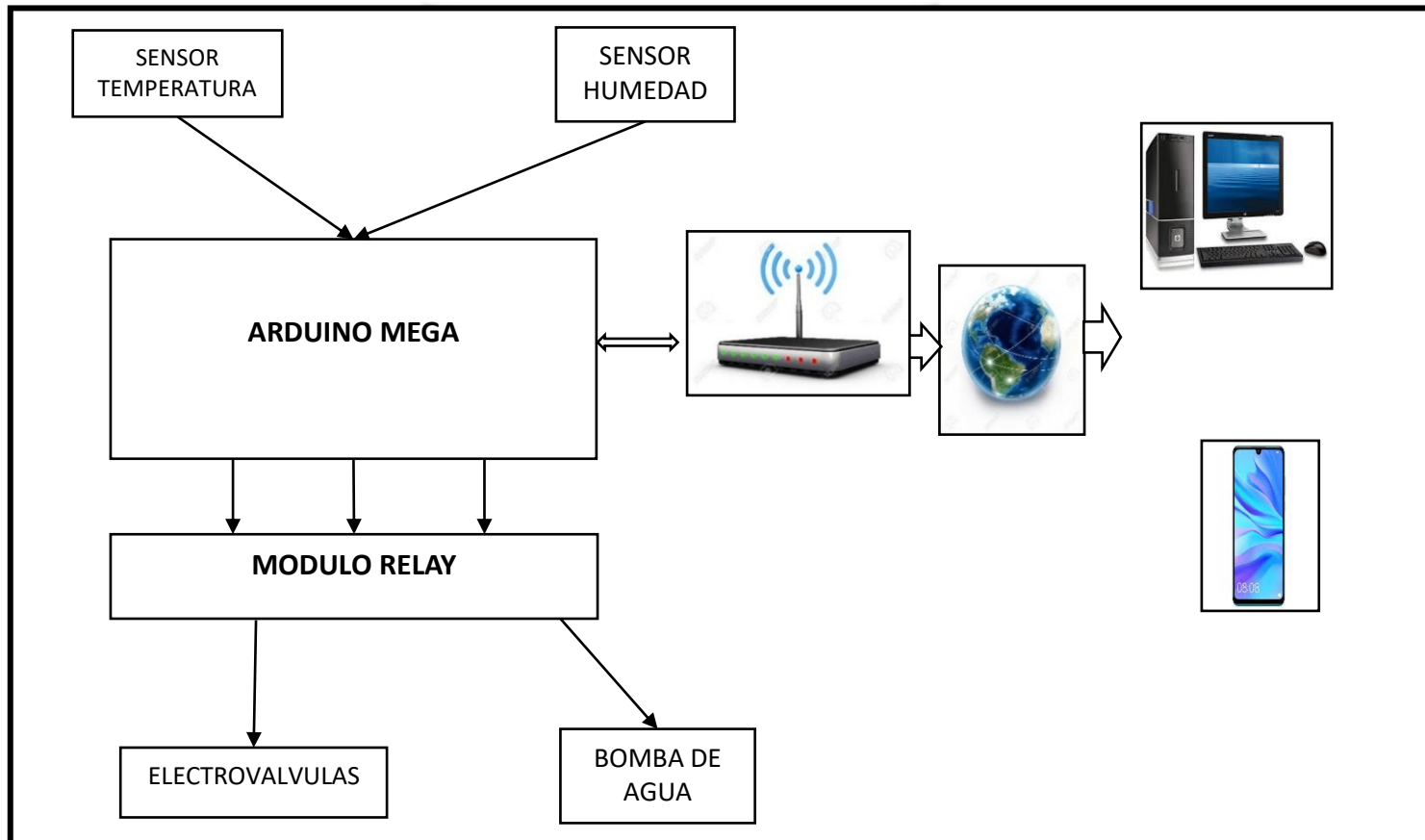
Se propuso un sistema automatizado para el control del contenido de humedad de los suelos en los tramos no asfaltados. De acuerdo con Knight Piésold Consultores S.A. (2014), los suelos de la zona de estudio se caracterizan por poseer fragmentos gruesos (gravas, guijarros y piedras), por lo cual la mayoría de los suelos pueden categorizarse como suelos arenosos esqueléticos. El régimen de humedad es árido y el de temperatura isotérmica, siendo su contenido de humedad de 0.28%. Considerando estas características del suelo, el sistema automatizado de control está compuesto por dos unidades principales: estación de sensores/actuadores y estación de monitoreo remoto.

Para la vía seleccionada las dos unidades consisten en:

- Sensor de temperatura y humedad de ambiente.
- Sensor de humedad (higrómetro).
- Electroválvulas.
- Bomba de agua.
- Placa Arduino Mega y módulo ESP8266.
- Una computadora personal (PC) y/o dispositivo móvil con acceso a internet.

**Figura 24.**

*Sistemas de control*



Nota: Elaboración diagramática propia

En este sistema propuesto los sensores y actuadores son componentes indispensables, puesto que ellos podrán registrar las variables ambientales necesarias para el funcionamiento del sistema (humedad y temperatura). Todos estos datos serán procesados en los microcontroladores Arduino y el módulo ESP8266, los cuales compararan los rangos programados de forma constante, si en algún momento los datos recopilados se encuentran fuera de los parámetros establecidos los actuadores se activarán para restablecer las condiciones deseadas. Esa activación se obtiene a través de la placa Arduino y NodemCu de acuerdo a las condiciones deseadas establecidas en la plataforma IoT.

Para este proyecto los datos obtenidos de las variables deseadas (temperatura y humedad) de la vía de acarreo seleccionada y el estado de los actuadores será almacenado y visualizado en la plataforma Thingier i.o.

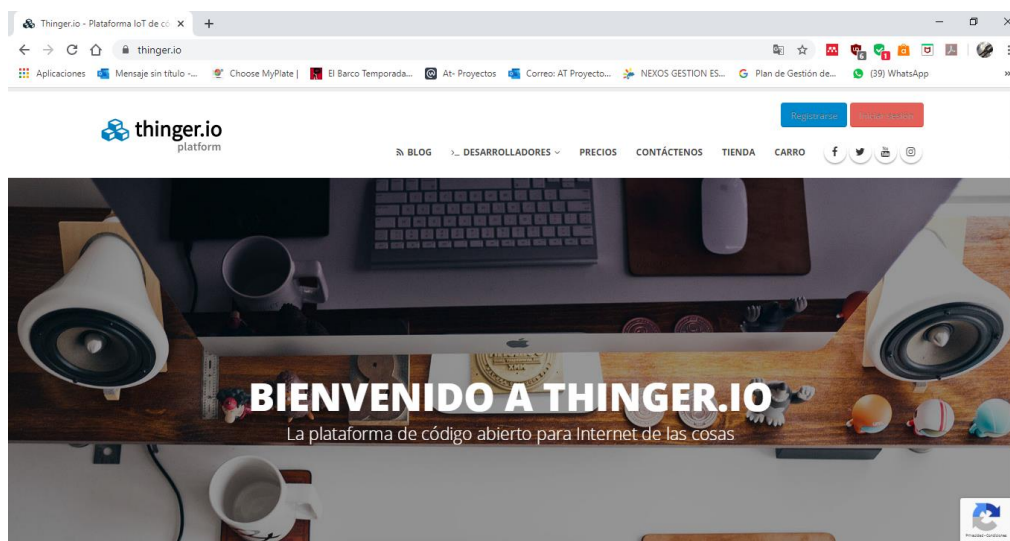
La automatización del sistema de riego por aspersión permitió la recolección de información en todo el año, lo cual permitió conocer las condiciones ambientales del predio minero además de mitigar el polvo generado por el acarreo de material, consiguiendo que se reduzca la cantidad de agua utilizada para las operaciones de riego, de esta manera a largo plazo beneficiará a la empresa titular de la operación minera.

### **Software Plataforma THINGER.IO**

Esta plataforma viene incorporada de un gran número de librerías de acceso abierto, la cual permite controlar un gran número de dispositivos como los propuestos en esta investigación (Arduino y ESP8266) a través de internet. Esta plataforma facilita el trabajo con el sistema IoT (internet de las cosas) y con otros dispositivos y equipos que manejan internet.

**Figura 25.**

*Vista principal de acceso a la plataforma Thinger.io.*

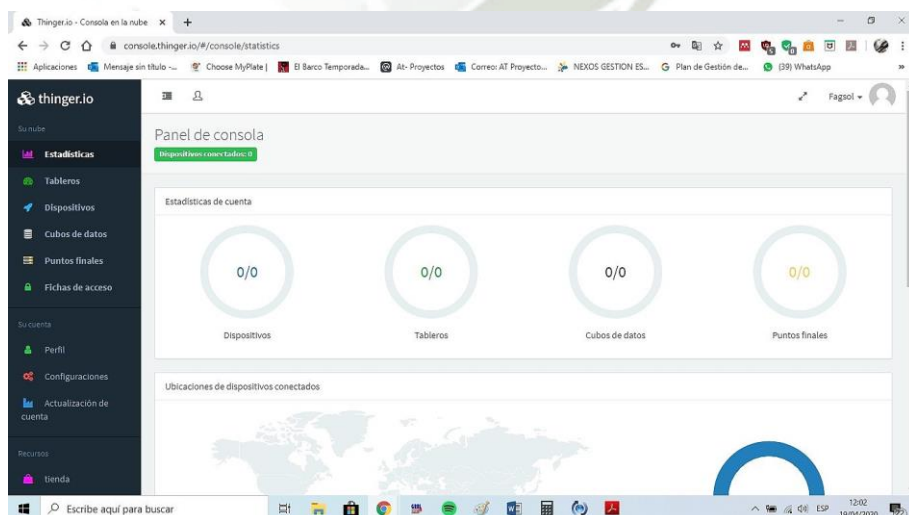


Nota: Tomado de Thinger i.o

Lo primero que se hizo fue crear la plataforma para la empresa.

**Figura 26.**

*Vista principal de acceso a la plataforma Thinger.io.*

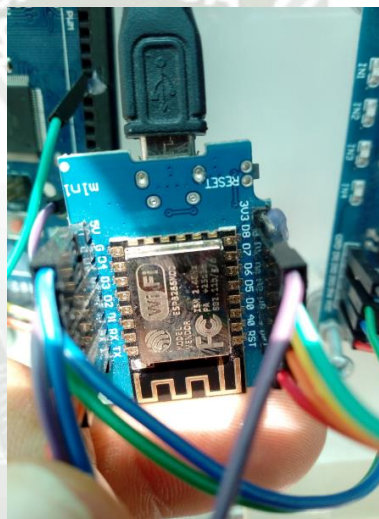


Nota: Tomado de Thinger i.o

Luego se realizó una transferencia de la información de los datos recopilados a la plataforma Thingier .io a partir de un sensor instalado en este caso el DHT22 (AM2302), el cual está conectado a la placa para poder administrar la información. Se estableció una conexión entre la placa y la plataforma Thingier .io, la librería se instaló en el gestor de librerías de Arduino.

**Figura 27.**

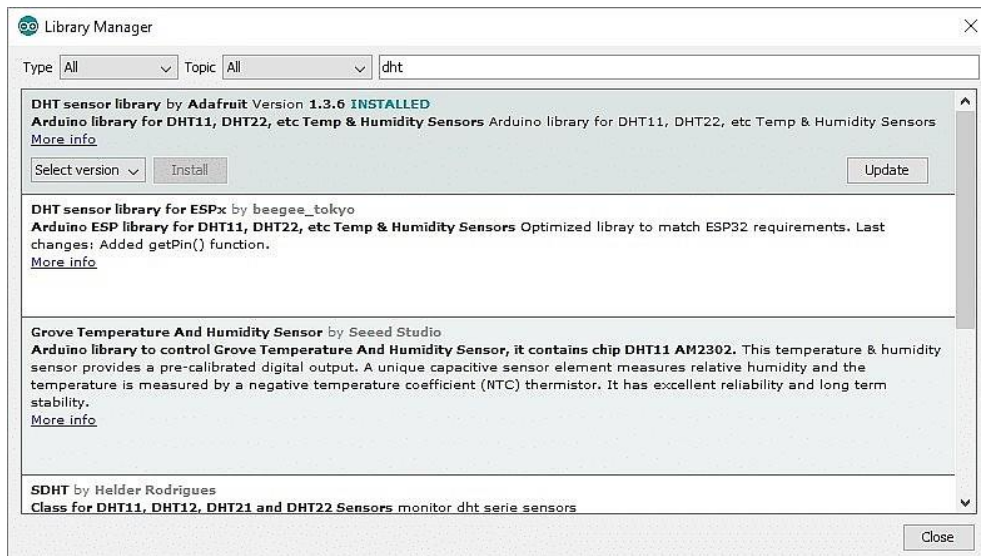
*Conexión de dispositivos a la placa*



Nota: Fotocaptura propia

**Figura 28.**

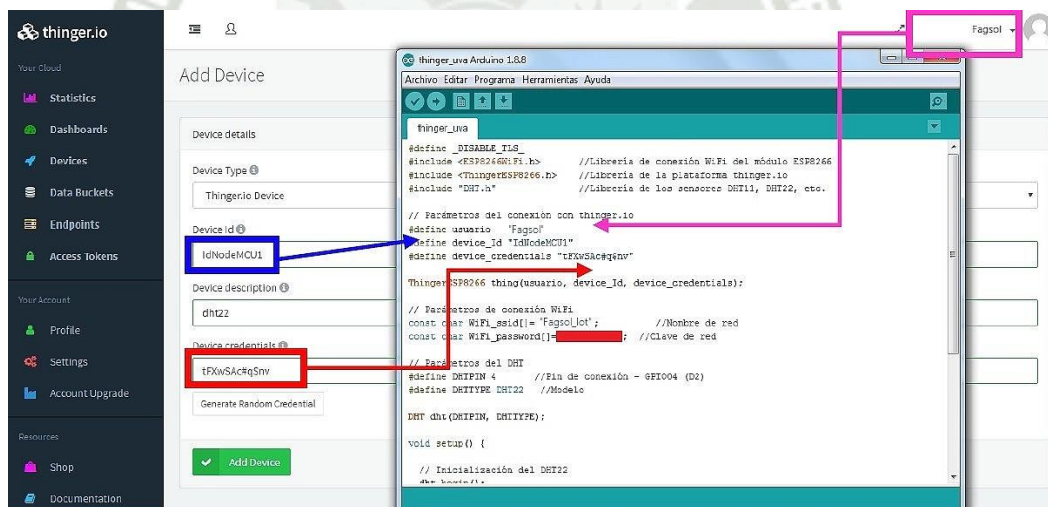
*Instalación de la librería DHT (temperatura y humedad)*



Nota: Fotocaptura propia

**Figura 29.**

*Rellenado de datos para añadir un nuevo dispositivo para enlazar a la placa con la plataforma Thingier.io*



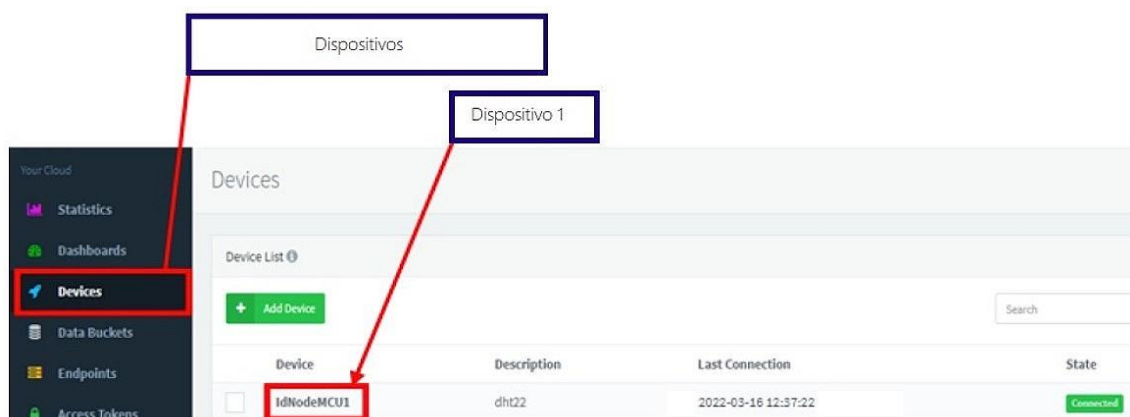
Nota: Fotocaptura propia

Una vez que los datos hayan coincidido en sincronía con las plataformas de conexión de WIFI, se procede a conectar el dispositivo, el cual permitió a que la placa siga las órdenes de la plataforma Thingier.io, de esta manera se procesó los datos de temperatura y/o humedad.

Después en la plataforma Thingier.io en la opción de “DEVICES” se observó el estado del dispositivo el cual deberá de decir “CONNECTED”.

**Figura 30.**

*Estado del dispositivo “CONECTADO”*

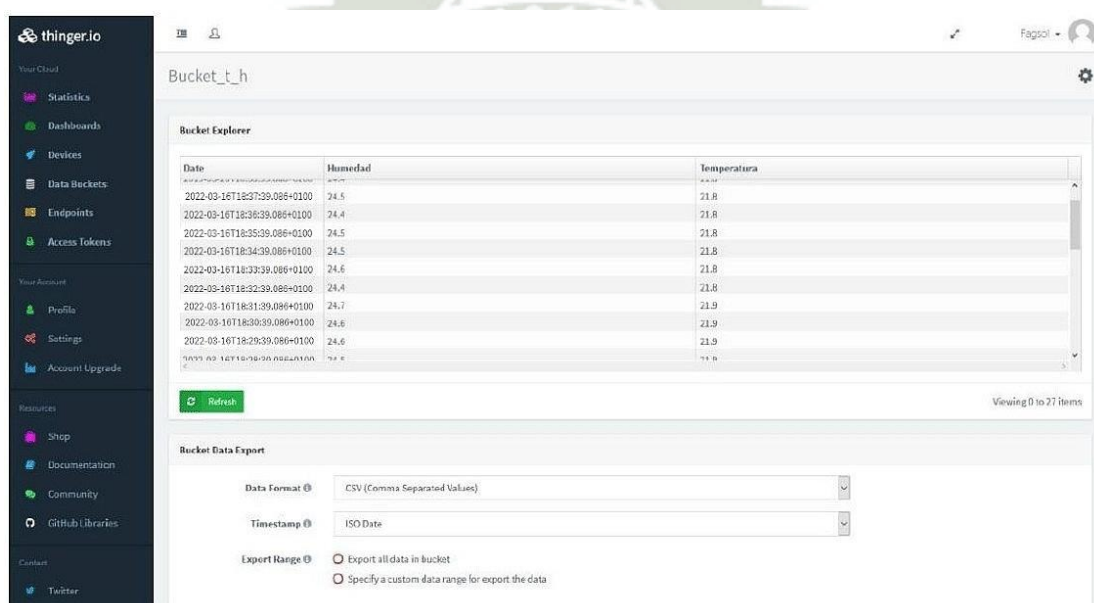


Nota: Fotocaptura propia

Una vez que el dispositivo está conectado se debe de revisar el historial de los datos, para ello debe de revisarse la opción “DATA BUCKETS” y registrar esta opción con un nombre sin espacios, desde esta opción los datos pueden exportarse a otro software. En el caso de esta investigación se exportarán a plantillas Excel.

**Figura 15.**

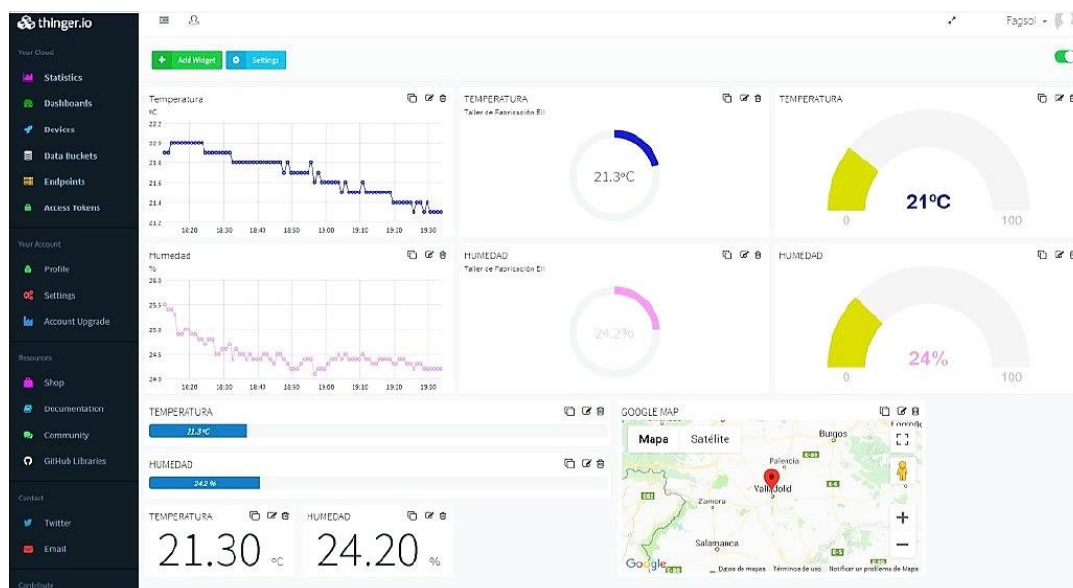
*Datos obtenidos para la exportación*



Nota: Fotocaptura propia

**Figura 32.**

*Resultado de los datos recolectados*



Nota: Fotocaptura propia

De la misma manera se instaló los demás dispositivos para poder recopilar los datos.

### **Instalación de la estación de monitoreo**

Se realizó una instalación experimental en las inmediaciones de la empresa FAGSOL SAC para corroborar el funcionamiento de la instalación de monitoreo y así poder visualizar los valores enviados por los sensores que se encuentran en los diferentes puntos.

**Figura 33.**

*Instalación de estación de monitoreo*



Nota: Fotografía propia

#### 4.2.2. Resultados obtenidos: Recolección de datos

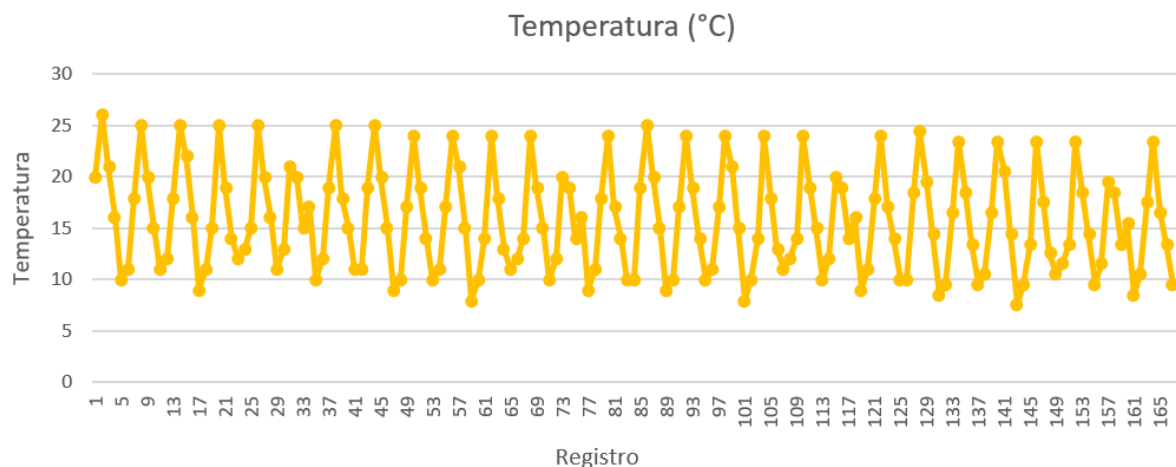
Los datos disponibles en la plataforma Thinger.io fueron exportados al programa Microsoft Excel para poder ser interpretados y manejados en tablas de control.

- Información obtenida de temperatura

En el siguiente diagrama se puede observar cómo se desarrolló la temperatura diaria en un lapso de tiempo de un mes.

#### **Figura 34.**

*Información recolectada de los sensores de temperatura*



Nota: Eje "x" – N° de registro y Eje "y" – Temperatura

En la figura anterior puede observarse la temperatura (°C) que registra el sensor en un lapso de un mes, en donde se produce un total de 165 registros. Los registros se caracterizan por alcanzar valores máximos de entre 26 a 24 °C por día y valores mínimos de entre 8 y 10 °C por día. También se observa que por día se producen un promedio de 6 registros.

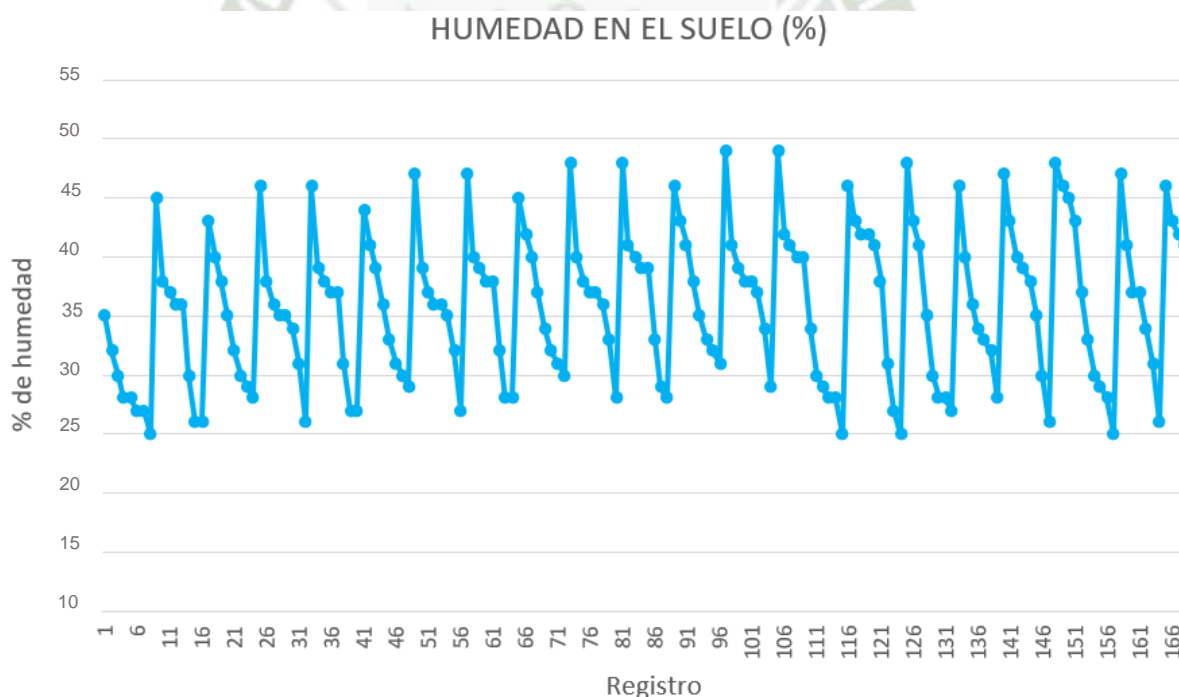
- Información obtenida para el porcentaje de humedad

En el siguiente diagrama muestra el porcentaje de humedad del suelo, considerando que los suelos de la zona de estudio se pueden considerar como suelos arenosos - áridos (compuesto de gravas, guijarros y piedras), en donde el contenido de humedad no supera el 0.28%, se vio por conveniente considerar que el contenido de humedad no descienda demasiado, por ello el porcentaje graduado de la propuesta deberá colocarse a un 25% de humedad, debido a que según Ulate y Vargas (2018), los climas áridos tienen altas tasas de evaporación, por lo cual es necesario dejar un porcentaje más alto de humedad. Esto quiere decir que cuando el sensor de humedad alcance el valor mínimo de 25% se activará la electroválvula que provocará un reencendido automático que evitará que la humedad del suelo descienda.

De acuerdo a Zotarelli (2013), para suelos arenosos al momento de realizar el riego (en este caso para mitigación) se produce un fenómeno denominado “punto de capacidad de campo”, en este fenómeno el agua es drenada mediante los grandes poros del suelo (macroporos) y es reemplazado por el aire. Los espacios porosos restantes (microporos) todavía conservan agua, por lo tanto, el contenido de humedad se mantiene a cierto porcentaje, pero es necesario renovar/aumentar el contenido de humedad constantemente. Eso certifica que los riegos por aspersión continuos y en bajas dosificaciones son la mejor alternativa para poder mitigar el polvo y conservar la humedad en suelos arenosos y áridos.

**Figura 35.**

*Información recolectada de los sensores de humedad del suelo*



Nota: Eje “x” – N° de registro y Eje “y” – Porcentaje de humedad

La figura anterior muestra los datos de humedad tomados de un entorno simulado que permitirá comprender como funciona el sistema, para ello se registran los datos reales en donde puede observarse: la humedad (%), que registra el sensor en un lapso de un mes, en donde se produce un total de 166 registros. Los registros se caracterizan por alcanzar valores

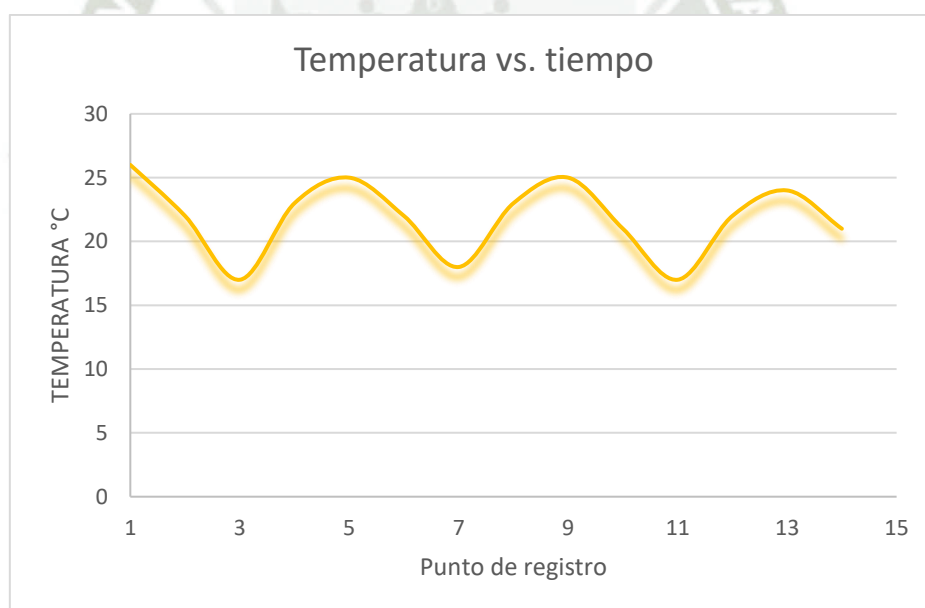
máximos de entre 45 a 48 % de humedad por día y valores mínimos de entre 25 a 28 % por día. También se observa que por día se producen un promedio de 6 registros al igual que el caso anterior. (referenciado de acuerdo a las especificaciones del equipo)

En la figura anterior también se observa como el porcentaje de humedad va disminuyendo a medida que el día transcurre, esto permite observar que la humedad se mantiene aproximadamente hasta el mediodía, y de allí la bomba se reenciende para poder proveer más humedad.

En los siguientes gráficos se muestra la relación entre la humedad y la temperatura con los ajustes correspondientes (temperatura y humedad) que se adecuarán a un entorno real:

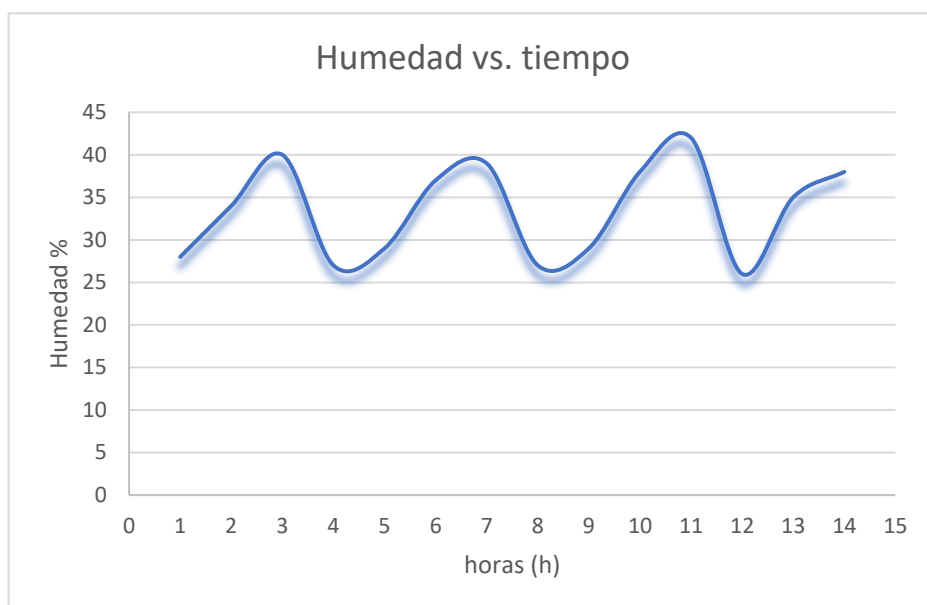
### Figura 36.

#### *Temperatura vs tiempo*



Nota: Muestra representada (14 horas)

En la figura anterior se observa la relación entre la temperatura y el tiempo, se observa que, para una muestra total de 14 horas, las temperaturas varían 17°C hasta los 26°C. Esto es evidente, puesto que en el día las horas con mayor presencia solar van desde las 11 am hasta las 2 pm, sin embargo, en el muestreo se tomaron datos de 1:00 pm, 7:00 pm, 1:00 am y 7:00 am, dando como resultado

**Figura 37.***Humedad vs tiempo*

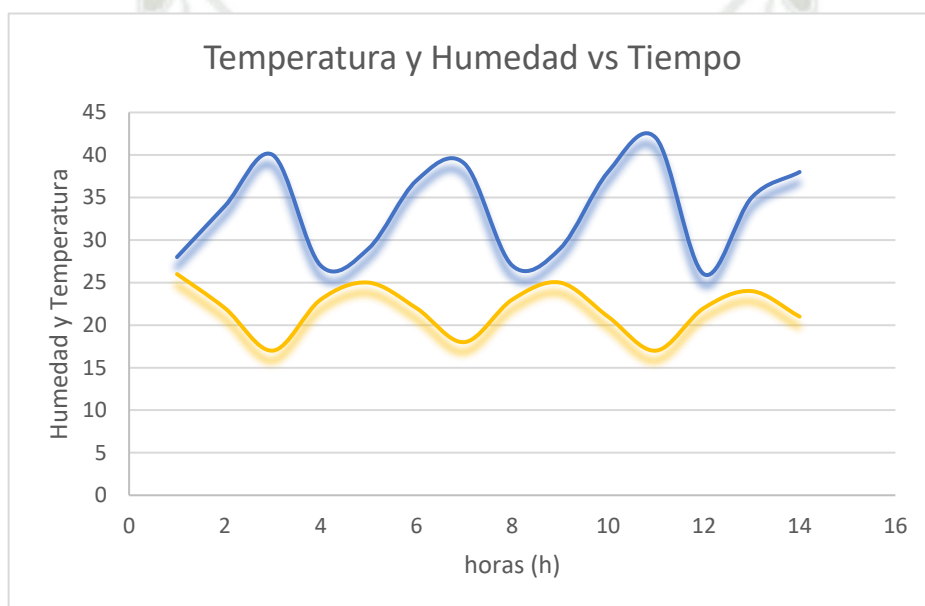
Nota: Muestra representada (14 horas)

En la figura anterior se observa la relación entre la humedad y el tiempo, en donde, para una muestra total de 14 horas, el porcentaje de humedad es oscilante. De acuerdo a Zotarelli (2013), debido a que los climas áridos tienen altas tasas de evaporación, es necesario que el sensor de humedad alcance el valor mínimo de 25% para que se active la electroválvula, para ello se realizó el ajuste correspondiente y se observa que en el transcurso de las horas cuando la humedad alcanza valores entre 23 y 24% de humedad se produce el reencendido correspondiente. Se considera que el valor no alcanza el 25% por condiciones externas al sistema (vientos dominantes húmedos o nubosidad). Por otro lado, Zotarelli (2013), también indica que la humedad de un suelo usualmente se encuentra en un rango de entre 25 a 50 %, sin embargo, si lo que se quiere es mitigar la acumulación de polvo en el suelo es necesario mantener una humedad de entre 30 a 40 % y en base a este rango se consideró el valor máximo en el sistema implementado.

A diferencia del diagrama anterior la humedad no solo está condicionado con el calor o energía radiante del día, sino también con otros factores climatológicos como la sequedad del ambiente, los vientos dominantes, rocío, o nubosidad, debido a ello la gráfica es muy cambiante a lo largo de las horas.

### Figura 16.

*Humedad vs temperatura*



Nota: Muestra representada (16 horas)

Finalmente, en esta grafica se muestra el comportamiento de la humedad y la temperatura en un mismo instante. Se observa que en algunos momentos los porcentajes de humedad más altos coinciden con las temperaturas más bajas, pero en otros no sucede lo mencionado, sino que la temperatura es un poco similar a la humedad. Esto se debe a, como se mencionó anteriormente, la humedad no solo está condicionada por temperaturas altas sino por otros factores climatológicos como la sequedad del ambiente, los vientos dominantes, rocío, o nubosidad, los cuales contribuyen a que haya mayor presencia de humedad.

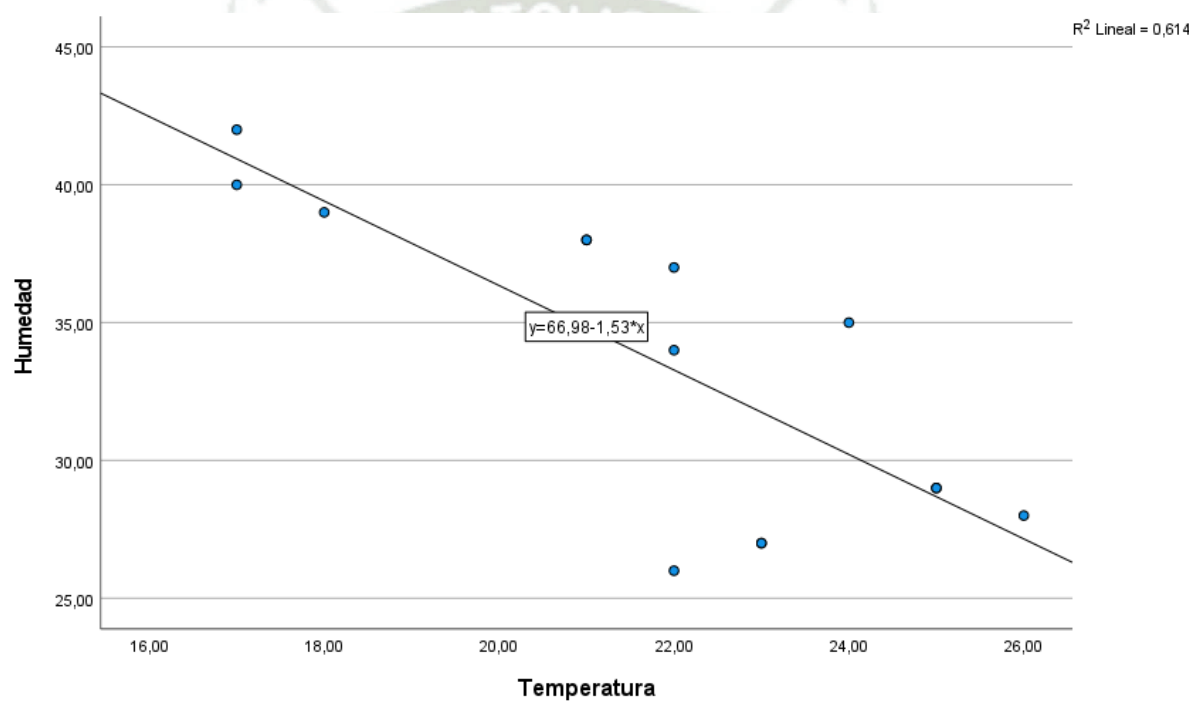
### Gráfico de dispersión

Para la realización del gráfico de dispersión se utilizó el programa estadístico SPSS Statistics versión 24, en donde se tomaron los datos de la figura 31.

En el siguiente gráfico de dispersión se puede observar la relación entre la humedad y la temperatura del sistema implementado

**Figura 17.**

*Diagrama de dispersión de humedad y temperatura*



El diagrama de dispersión muestra que la correlación tiene un modelo lineal descendente, eso quiere decir que a mayor temperatura en el ambiente la humedad del suelo bajará.

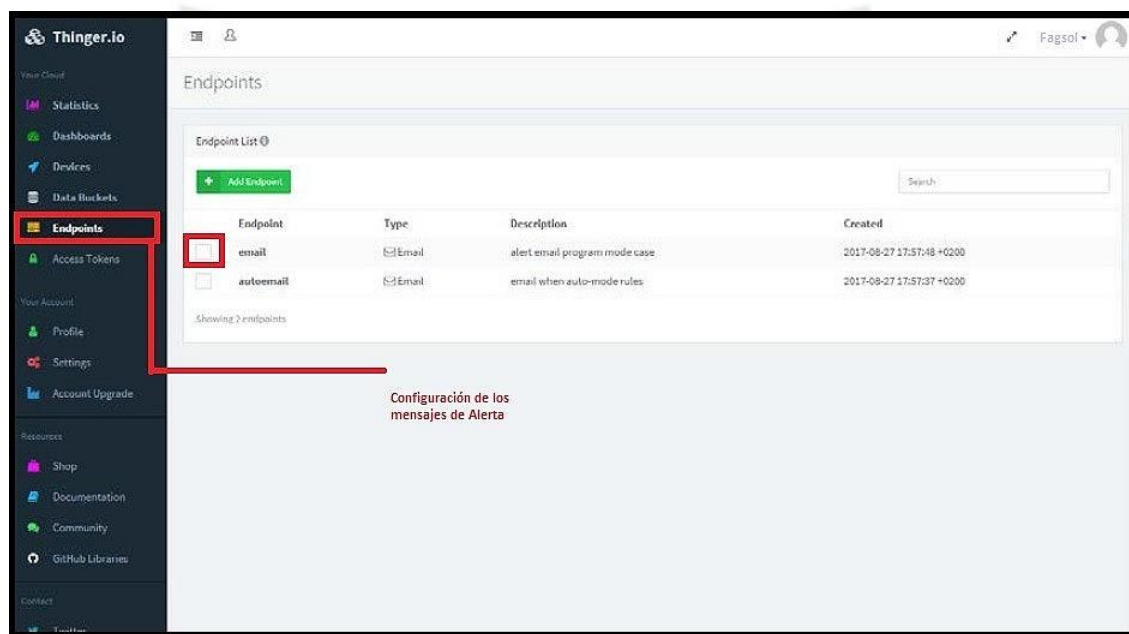
### Mensajes de alerta

En la plataforma Thingier IO pueden configurarse diferentes opciones que permitirán alertar si los criterios establecidos en los sensores se cumplen o no se cumplen. Los mensajes de alerta pueden expresarse como: Email, mensaje o llamada.

Estas señales permiten que el funcionamiento del sistema propuesto pueda desempeñarse de forma idónea. Se puede configurar el sistema de tal forma que dos alertas puedan ser enviadas al correo electrónico, como se puede observar en la siguiente foto.

**Figura 18.**

*Configuración de los mensajes de alerta en Thinger io*

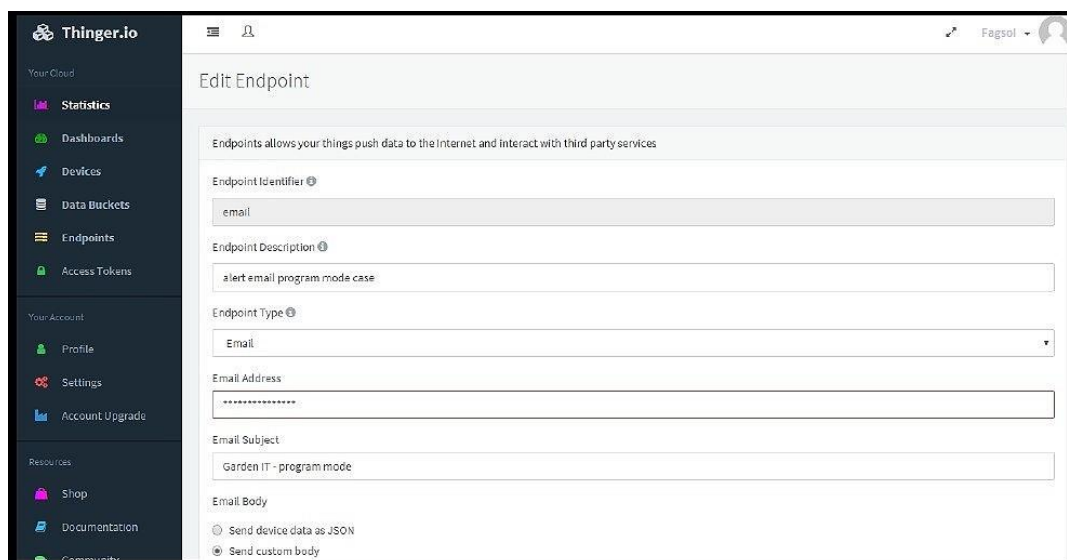


Nota: Fotocaptura propia

Debe de introducirse las direcciones de correos electrónicos para que las señales de alerta puedan llegar. Para ello debe de configurarse la opción Endpoints del programa Thinger io, tal como se muestra en la figura anterior.

**Figura 19.**

*Configuración de cuentas para recibir mensajes de alerta*

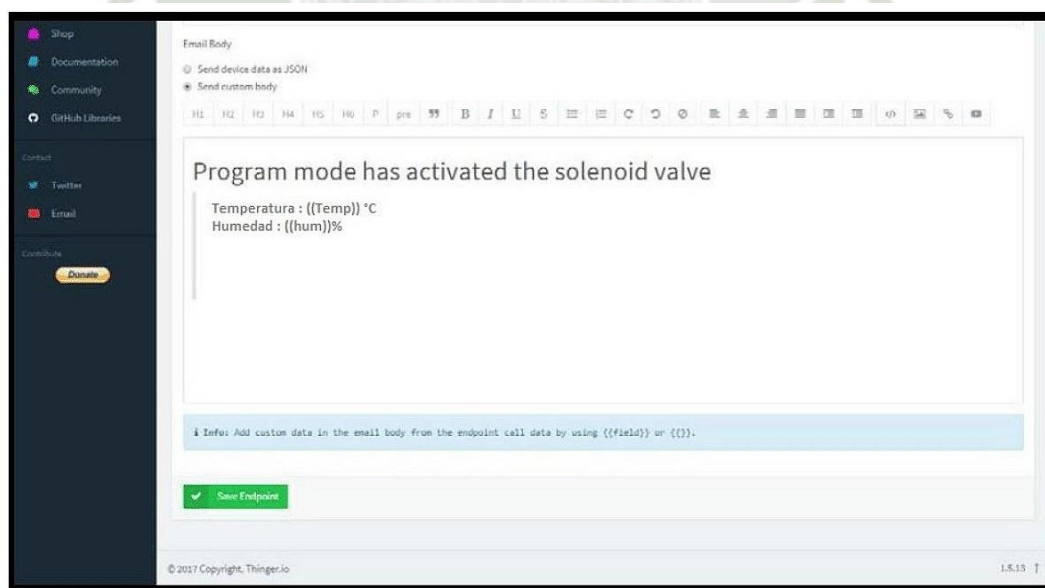


Nota: Fotocaptura propia

En la siguiente figura se observa cómo es posible agregar todos los parámetros necesarios para poder obtener mensajes de alerta por parte de los sensores instalados.

**Figura 20.**

*Configuración de mensajes de alerta de los sensores*



Nota: Fotocaptura propia

Se configuró para que el mensaje de alerta llegue, en este caso, al ordenador del propietario del recinto en donde se realizó la prueba experimental de funcionamiento del sistema de riego inteligente, de tal forma que se pueda emitir una alarma de forma automática

y así corregir si se produce algún desperfecto. Para este caso se configuró para que el mensaje llegue al correo siguiente: [alonzoperezmendez@gmail.com](mailto:alonzoperezmendez@gmail.com).

#### 4.2.3. Costos totales actuales de mitigación ambiental

Costos directos (Por día):

- a. Costo del agua desde el pozo a cisterna:

**Tabla 4.**

*Datos iniciales del estudio*

<b>Carretera</b>	
Ancho	3.50 m
Longitud	1945.10 m
Área	6807.85 m <sup>2</sup>

Nota: Datos Iniciales

**Tabla 5.**

*Agua*

<b>Agua</b>	
Propuesta actual	19947.001 L
Propuesta a implementar	8577.891 L
Diminución por regado	11369.11 L

Nota: Datos de agua

**Tabla 6.**

*Tabla de costos directos*

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario S/.	Costo por regado S/.	Costo Total S/.
Agua	M <sup>3</sup>	19.947	1.5	29.921	119.682

Nota: Costos directos por día

El costo del M<sup>3</sup> de agua obtenido desde un pozo o reservorio de agua hasta su colocación en un camión cisterna es de 1.50 soles, debido a ello, para obtener el costo del agua obtenida se debe de multiplicar la cantidad de metros cúbicos de agua necesarios por el costo unitario de cada metro cubico. Además, se trabaja con 2 turnos de 8 horas por lo cual se harán 2 regados en las mañanas y 2 regados en las tardes dando un total de 4 regados al día.

- b. Combustible:

**Tabla 7.**

*Tabla de costos directos (combustible)*

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario S/.	Números de viaje por O/C	Costo combustible O/C
Petróleo diésel	galón	0.358	16.20	4	23.20

Nota: Costos de combustibles directos

Determinación del precio:

Precio de 1 galón: 16.20 soles;

Determinación de cantidad requerida de combustible:

Distancia de recorrido de cisterna para realizar riego total: 1.95 km;

El rendimiento para cisternas: 1 galón rinde 18 km para camiones cisterna;

Determinación del número de viajes para atender:

Cantidad de agua requerida: 19.947 metros cúbicos

Capacidad promedio por cisterna: 13 metros cúbicos

Numero de entregas (a/b): 1.53

Viajes ida y retorno: 2

Kilómetros recorridos (a/b'/a): 2.54

Kilómetros recorridos (a/b/a): 3.894

Kilómetros recorridos totales: 6.44

Nº de viajes: 4 viajes

Para poder obtener el precio del combustible se determinó el costo del galón del petróleo diésel, el cual es de S/.16.20, posteriormente se deberá encontrar cual es la cantidad necesaria para realizar los viajes correspondientes. Para ello se toma la distancia que debe de recorrer el vehículo para realizar la mitigación ambiental, esta distancia en kilómetros se divide entre el valor promedio de rendimiento de 1 galón de combustible necesario por viaje. Posteriormente se calculó la cantidad de viajes

necesarios, de esta manera se determinó la cantidad total necesaria de combustible para realizar la mitigación ambiental por 1 día.

c. Lubricantes:

**Tabla 8.**

*Tabla de costos directos (lubricantes)*

Concepto	Unidad de medida	Cantidad gal	Costo Unitario S/.	Numero de regadas	Distancias por las 4 regadas	Costo Total S/.
Lubricante	galón	0.00215	267.30	4	25.76	0.5747

Determinación del precio:

Precio de 1 galón lubricante: 209.90 soles

Precio de un filtro de aceite: 57.40 soles

Total: 267.30

Rendimiento por unidad:

Rendimiento de 1 galón lubricante: 12,000 km

Rendimiento de 1 filtro de aceite: 12,000 km

Kilómetros requeridos en O/C

Números de viaje: 4.0

Distancia: 6.44 km

Total de kilómetros: 25.76

Proporción:  $25.76/12,000 = 0.00215$

Para obtener el costo de los lubricantes se consideró el costo del galón de lubricante y del filtro de aceite, ambos productos suman un valor de S/267.30, luego es necesario que este valor resultante se compare con el rendimiento total (12,000 km).

Posteriormente, se determinó la cantidad de viajes de ida - vuelta y el total de kilómetros recorridos. La cantidad total gastada se consideró por día.

d. Neumáticos:

**Tabla 9.**

*Tabla de costos directos (neumático)*

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario S/.	Numero de viajes	Costo Total S/.
Neumático	unidad	0.0004293	2400.00	4	1.0303

Nota: Costos de neumáticos directos

Determinación del precio:

Precio de 6 neumáticos x 1 vehículo x 400.00 c/u = 2400.00 soles

Rendimiento por unidad

Rendimiento de 1 neumático = 60000 km

Kilómetros requeridos en O/C

Número de viajes = 4 viajes

Distancia de la O/C = 6.44 km

Total de kilómetros = 25.76

Proporción =  $25.76/60000 = 0.0004293$

Para obtener el costo de los neumáticos se realizó la multiplicación del valor de 6 neumáticos en un vehículo, en donde el valor final fue de 2400.00. También se colocó el rendimiento del neumático que alcanza valores de 60000 km de uso. En base a la cantidad de viajes de ida y vuelta se consideró todos los factores relacionados con los gastos operativos o variables relacionados con los neumáticos: número de viajes, distancia y total de kilómetros.

e. Mantenimiento y reparación:

**Tabla 10.**

*Tabla de costos directos (mantenimiento y reparación)*

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario S/.	Número de viajes	Costo Total S/.
Manten. Y reparac.	unidad	0.000515	1000.00	4	0.515

Nota: Costos directos por día

Determinación del precio:

Mantenimiento periódico de 1 vehículo (c/u 1000) = 1000.00 soles

Rendimiento por unidad:

Periodicidad de mantenimiento = 50000 km

Kilómetros requeridos en O/C

Número de viajes = 4 viajes

Distancia de la O/C = 6.44 km

Total de kilómetros = 25.76

Proporción =  $25.76/50000 = 0.000515$

El costo de mantenimiento y reparación del camión cisterna se obtuvo al determinar el precio promedio de mantenimiento y reparación del vehículo que servirá para conocer el coste total de mantenimiento requerido por kilómetro.

f. Remuneración de chofer

**Tabla 11.**

*Tabla de costos directos (Remuneración de chofer)*

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario S/.	Número de turnos	Costo Total S/.
Remun. Choferes	unidad	26	304.04	2	7905.04

Nota: Costos directos del pago al chofer

Determinación del costo de chofer:

Remuneración mensual: 3500.00 soles

Aporte ESSALUD 9%: 90.00 Soles

Aporte SCRT 1.53%: 15.30

Compensación vacacional: 83.33

Gratificación ordinaria/mes: 166.67

C.T.S. eq mes: 97.22

Total costo mensual: 1452.52

Costo diario = Total/26d: 55.87 soles

Viajes afectos al peaje:

Numero de entregas: 1.53

Número de vehículos: 1

#### VIAJES

Vehículo 1: 2 viajes x 26 días = 52 - Días equivalentes: 2 viajes = 8 horas

Total viajes: 52 viajes – 26 días equivalentes.

Para determinar el pago de los choferes de los camiones se consideró todos los factores relacionados con los aportes que les corresponden como ley: Aportes de ESSALUD, SCRT, compensaciones, gratificaciones, C.T.S.

Costos indirectos (Por día):

- a. Derecho autoridad nacional del agua – ANA

#### Tabla 12.

*Tabla de costos directos (Derecho autoridad nacional del agua - ANA)*

Concepto	Unidad de medida	Parámetro distri.	Costo Base S/.	Costo Total S/.
Derecho de A.N.A	unidad	0.5	1.68	0.84

Nota: Costos directos del pago a ANA

Determinación del costo:

Costo del derecho del ANA anual: 612.00 soles

Costo por día del ANA: 1.68 soles

Parámetro base de distribución del costo:

Total de agua requerida por día: 79.788

Total de distancia en Km: 25.76

Factor parcial: 116.69

Sumatoria de factores parciales (por 4 viajes de 16 horas): 466.76

Tasa base de distribución: 0.5

Para determinar el costo del agua desde el pozo a cisterna se consideró los costos y derechos mensuales proporcionados por ANA y la cantidad total de agua requerida.

b. Derecho a SEDALIB

**Tabla 13.**

*Tabla de costos directos (SEDALIB)*

Concepto	Unidad de medida	Parámetro distri.	Costo Base S/.	Costo Total S/.
Derecho de SEDALIB	unidad	0.5	5.96	2.98

Nota: Costos directos que se paga a SEDALIB

Determinación del costo:

Costo del derecho de SEDALIB: 5.96 soles por día

Parámetro base de distribución del costo:

Total de agua requerida por día: 79.788 m<sup>3</sup>

Total de distancia en Km: 25.76

Factor parcial: 116.69

Sumatoria de factores parciales (por 4 viajes de 16 horas): 466.76

Tasa base de distribución: 0.5

Para determinar el costo del agua desde el pozo a cisterna se consideró los costos y derechos mensuales proporcionados por SEDALIB y la cantidad total de agua requerida.

c. Remuneración del personal administrativo

**Tabla 14.**

*Tabla de remuneración del personal administrativo*

Concepto	Unidad de medida	Parámetro distri.	Costo Base S/.	Costo Total S/.
Remu. Personal administrativo	unidad	0.5	250.16	125.08

Nota: Pago al personal de administración

Honorarios del personal administrativo (totales):

Gerente: 3050.30

Administrador: 2469.29

Asistente: 1234.64

Total final: 250.16 soles por día

Parámetro base de distribución del costo:

Total de agua requerida por día: 79.788 m<sup>3</sup>

Total de distancia en Km: 25.76

Factor parcial: 116.69

Sumatoria de factores parciales (por 4 viajes de 16 horas): 466.76

Tasa base de distribución: 0.5

d. Seguro vehicular

**Tabla 15.**

*Tabla de costos de seguros vehiculares*

Concepto	Unidad de medida	Parámetro	Costo Base	Costo O/C
		distrib.	S/.	S/.
Seguro vehicular	unidad	0.5	0.6849	0.3425

Nota: Costos de los seguros vehiculares

Determinación del costo:

SOAT por vehículo: 240 soles anual (0.6849 soles por día)

Número de vehículos: 1 vehículo

Parámetro base de distribución de costo:

Total, de agua requerida por día: 79.788 m<sup>3</sup>

Total, de distancia en Km: 25.76

Factor parcial: 116.69

Sumatoria de factores parciales (por 2 viajes de 8 horas): 466.76

Tasa base de distribución: 0.5

Cálculo de costos directos totales (por día):

**Tabla 16.**

*Tabla de costos totales por día*

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	Parcial	Total S/.
Costo del agua desde el pozo a cisterna	119.682	
Combustible	23.2	
Lubricantes	0.5747	
Neumáticos	1.0303	
Mantenimiento y reparación	0.515	
Remuneración de choferes	304.04	
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>		<b>449.042</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		
Derecho autoridad nacional del agua - ANA	0.84	
Derecho a SEDALIB	2.98	

Remuneración del personal administrativo	125.08
Seguro vehicular	0.34
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>129.24</b>
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>578.282</b>

Nota: Costos directos totales

Los costos diarios totales actuales de mitigación ambiental alcanzan un valor de S/. 578.282.

Los costos anuales serían de S/. 211072.93. Si se mantuviera este tipo de sistema tradicional de mitigación ambiental por 10 años alcanzaría un valor de S/. 2110729.3.

#### 4.2.4. Resultados obtenidos: Costos totales de implementación del proyecto

**Tabla 17.**

*Tabla de costos totales de implementación*

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTOS EN S/.
<b>0.1</b>	<b>COMPONENTES DE SISTEMA</b>	<b>11906.8</b>
0.1.1	Medidor de Humedad y Temperatura UNI-T UT-333BT Portatil higrómetro psicrómetro con Bluetooth. Vida útil de la batería: 200 horas	135.00
0.1.2	Bomba De Agua CPM 660m 2.0 HP Pedrollo. Vida útil 20.000 horas de trabajo	1799.90
0.1.3	Anemómetro, 4 en 1, velocidad, temperatura y humedad. Vida útil de batería 2 años	480.00
0.1.4	Electroválvula servo comandada conexión 1/2 pulgadas diámetro: Vida útil: 20 millones de ciclo (2 unidades)	392.44
0.1.5	Arduino Mega 2560 REV3. Vida útil 3 años	210.54
0.1.6	LAPTOP ASUS VIVOBOOK PRO 15 OLED K3500PA-L1042W INTEL CORE I5 512GB 8GB 15.6"	4399.00
0.1.7	Aspersor VYR – 26 (Plast. 1/2") – Presión 150 kPa - 144 aspersores	4489.92

<b>0.2</b>	<b>OBRAS DE PROYECTO</b>	<b>139763.37</b>
0.2.1	Obras provisionales	520.53
0.2.2	Toma de captación + canal de aducción + canal de derivación	7668.33
0.2.3		
0.2.4	Desarenador	10543.48
	Reservorio	50985.57
0.2.5		
0.2.6	Línea de conducción y distribución	41946.99
0.2.7	Válvula de aire	4159.09
0.2.8	Válvula reguladora de presión	6403.43
0.2.9	Válvula de purga	978.66
0.2.10	Medidor de canales y manómetros	3458.38
0.2.11	Arcos de riego	11205.71
	Válvula de control	1893.20
<b>0.3</b>		
0.3.1	<b>OBRAS PARCELARIAS</b>	<b>48197.49</b>
	Líneas de riego (laterales o porta laterales)	29513.19
0.3.2		
	Módulo de riego	18684.30
	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>199867.66</b>
	<b>IMPUESTO (IGV 18%)</b>	<b>35976.18</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>235843.84</b>

Nota: Costos totales de implementar la propuesta

**Tabla 18**

*Gastos de Capital (CAPEX) y Gastos Operativos (OPEX)*

Gastos de Capital (CAPEX)		Gastos Operativos (OPEX) – Por día	
Sistema de riego implementado	S/. 11906.80	Costo del agua desde el pozo a cisterna	S/. 119.682
Obras de proyecto	S/. 139763.37	Combustible	S/. 23.2
Obras parcelarias	S/. 48197.49	Lubricantes	S/. 0.5747
		Neumáticos	S/. 1.0303
		Mantenimiento y reparación	S/. 0.515
		Remuneración de choferes	S/. 304.04
		Remuneración del personal administrativo	S/. 125.08
		Derecho autoridad nacional del agua - ANA	S/. 0.84
		Derecho a SEDALIB	S/. 2.98
		Seguro vehicular	S/. 0.34
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 199867.66</b>	<b>TOTAL</b>	<b>S/. 578.282</b>

**Proyección de costos y consumo del sistema de aspersores**

Para proponer la cantidad y el distanciamiento de los aspersores se consideró la longitud de la vía de acarreo que consta de 1945.10 metros mientras que su ancho operativo es de 3.50 metros. La capacidad de radio de mojado del aspersor escogido es de 7.84 metros, entonces el diámetro de alcance de mojado sería de 15.68. Haciendo los

cálculos necesarios y siguiendo las recomendaciones de Heerman y Kohl (1980), en donde recomiendan que para aspersores con dos boquillas la distancia de separación corresponda al 95 % del diámetro del alcance de mojado, debido a ello se decidió que se tengan operativos 125 aspersores de forma estacionaria a lo largo de la vía de acarreo. También se consideró tener un repuesto de dispositivos de aspersión en caso se produjeran desperfectos, para ello se consideró el 15% de la cantidad operativa total, siendo la cantidad de aspersores de repuesto de 19 unidades.

Haciendo el reemplazo de datos correspondiente hallamos el factor de recuperación de capital, considerando la fluctuación en tasa de interés anual (real) que fluctúa entre un 5 y 18% de acuerdo a Villacís et al. (2012), se considera un 12%.

Aplicando la ecuación 2 podemos calcular que el valor FRC es de 12.01.

Luego realizamos la ecuación 1, en donde obtenemos que el costo fijo por aspersor es de S/. 374.47 por aspersor.

Posteriormente realizamos el cálculo del costo variable, para ello consideramos variables como el clima político nacional y el índice de la tasa de incremento de energía de acuerdo a informes del INEI (ver ecuaciones 3 y 4), en donde el costo variable alcanzó un valor de S/. 39.89.

Finalmente se obtendrá el valor del costo final aplicando la ecuación 6, encontramos que el valor del costo total es de S/. 414.36.

Teniendo esta información es posible obtener los siguientes resultados:

El costo total anual por aspersor sería de S/. 414.36.

El costo total anual de la mano de obra de mantenimiento para los 144 aspersores sería de S/. 17280

El costo total anual del derecho de agua de la ANA es S/. 1458.58.

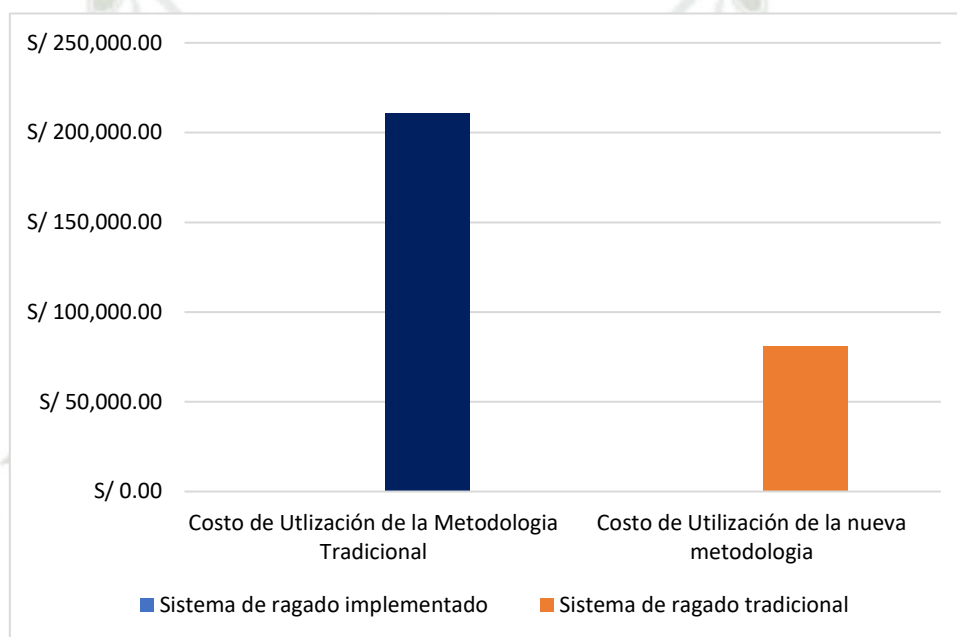
El costo total anual del derecho de agua de SEDALIB es S/. 2390.74.

El costo total anual de todos los aspersores implementados en la propuesta sería de S/. 80,797.16.

Si se quisiera hacer una proyección a 10 años manteniendo todos los valores establecidos en las operaciones anteriores se tendría como valor final: S/. 807,971.60.

**Figura 21.**

*Costos comparativos de las propuestas de riego.*



Nota: Costos comparativos de la propuesta con el riego actual

Como se puede ver en el grafico el sistema de riego implementado tiene un menor costo de implementación y mantenimiento que el sistema de riego tradicional.

**Gráfico lineal de costos**

**Tabla 19.**

*Costo de propuesta implementada*

	Valor anual S/.	Año	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	80,797.16	1	10,0	10,0	10,0
	161,594.32	2	10,0	10,0	20,0
	242,391.48	3	10,0	10,0	30,0

323,188.64	4	10,0	10,0	40,0
403,985.8	5	10,0	10,0	50,0
484,782.96	6	10,0	10,0	60,0
565,580.12	7	10,0	10,0	70,0
646,377.28	8	10,0	10,0	80,0
727,174.44	9	10,0	10,0	90,0
807,971.6	10	10,0	10,0	100,0
Total		100,0	100,0	

**Tabla 20.**

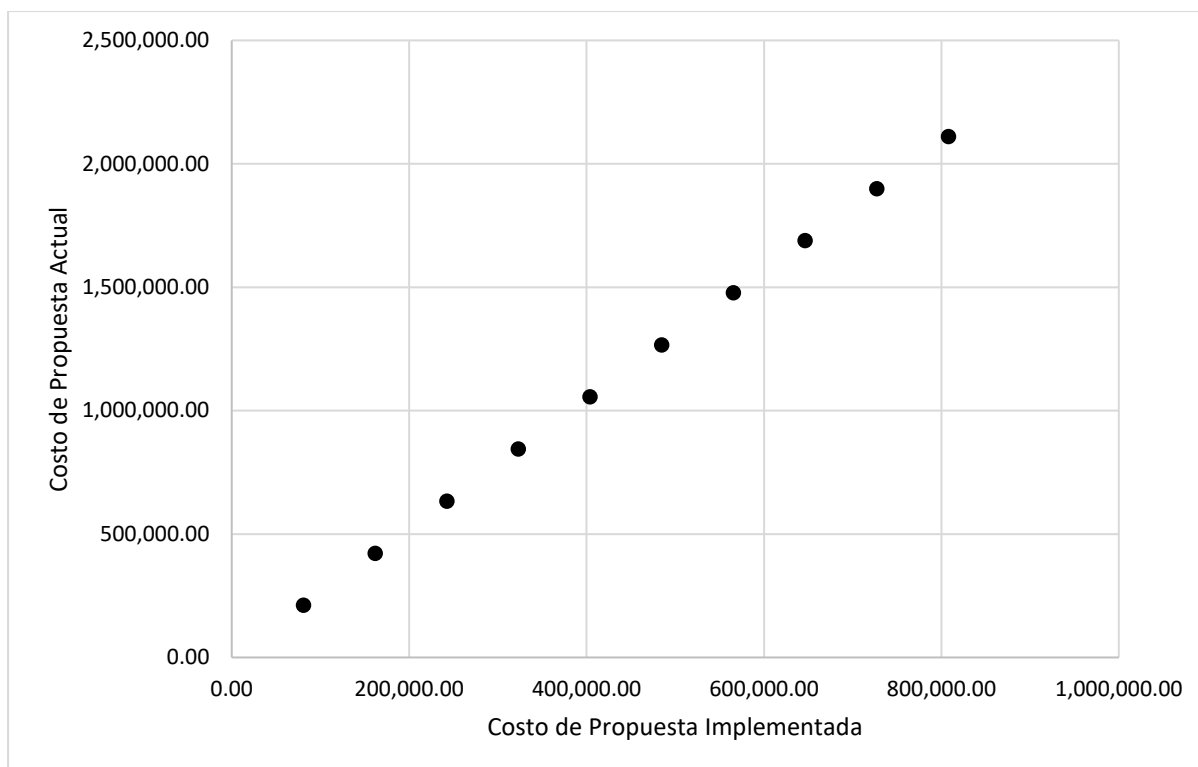
*Costo de propuesta actual*

	Valor anual S/.	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	211,072.93	1	10,0	10,0	10,0
	422,145.86	2	10,0	10,0	20,0
	633,218.79	3	10,0	10,0	30,0
	844,291.72	4	10,0	10,0	40,0
	105,5364.65	5	10,0	10,0	50,0
	126,6437.58	6	10,0	10,0	60,0
	147,7510.51	7	10,0	10,0	70,0
	168,8583.44	8	10,0	10,0	80,0
	189,9656.37	9	10,0	10,0	90,0
	2,110,729.3	10	10,0	10,0	100,0
Total			100,0	100,0	

En el siguiente grafico se puede observar la relación entre el costo de la propuesta implementada y el costo de la propuesta actual.

**Figura 22.**

*Diagrama lineal de costos*



Se puede observar que el diagrama es de tipo ascendente es decir el costo de la propuesta implementada y la propuesta actual aumentan de forma proporcional desde el primer año hasta el décimo, sin embargo, es posible observar que el costo de la propuesta implementada va disminuyendo paulatinamente (hay una tendencia hacia el eje x). Lo cual significa una mayor rentabilidad a largo plazo de la propuesta implementada.

**Tabla 21.**

*Detalle de OPEX de riego con de sistema inteligente y OPEX de riego tradicional.*

Riego con sistema inteligente		Riego Tradicional	
Costos Operativos (OPEX) – Por año		Costos Operativos (OPEX) – Por año	
Energía eléctrica	S/. 5,744.16	Costo del agua desde el pozo a cisterna	S/. 43683.93
Mantenimiento del sistema	S/. 17,280.00	Combustible DIESEL	S/. 8468.00

Mantenimiento de obra hidráulica	S/. 12,503.69	Lubricantes	S/. 209.77
Aspersores	S/. 4,489.92	Neumáticos	S/. 376.06
Red de distribución - manguera	S/. 29,513.19	Mantenimiento y reparación	S/. 187.98
Bomba - electroválvula	S/. 2,192.34	Seguro vehicular	S/. 124.10
Dispositivos electrónicos (Arduino, ESP8266, sensores)	S/. 5,224.54	Mano de Obra Directa (Remuneración de choferes)	S/ 110974.6
Derecho autoridad nacional del agua - ANA	S/. 1458.58	Mano de Obra Directa (Remuneración del personal administrativo)	S/. 45654.2
Derecho a SEDALIB	S/. 2390.74	Derecho autoridad nacional del agua - ANA	S/. 306.60
		Derecho a SEDALIB	S/. 1087.70
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 80797.16</b>	<b>TOTAL</b>	<b>S/. 211072.93</b>

#### 4.2.5. Resultados obtenidos: Calculo de los requerimientos hídricos para un área de regado

##### Método cociente de evaporización

Este método es utilizado para calcular los requerimientos hídricos o cantidad de agua requerida para una zona de riego. El factor que es necesario calcular para determinar la cantidad de agua es la evapotranspiración de riego  $E_{Tr}$ , para ello se aplicó la ecuación 7.

Como se puede observar, la variable desconocida y determinante en este método es la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), el cual es la tasa de evapotranspiración de una

superficie de referencia, el cual únicamente es influenciado por los parámetros climáticos del lugar en donde es requerido el agua para el riego. Estos parámetros pueden ser calculados a partir de datos meteorológicos como los que administra SENAMHI al público en general o por instrumentos de medición en el lugar. ETo también tiene la particularidad de no depender de otras condiciones como las características del suelo o las condiciones de uso de la superficie. Para esta investigación se decidió utilizar el método de evaluación a través de las variables climáticas.

La evapotranspiración de referencia (ETo) en metros (m) será hallada por la fórmula de Hargreaves & Samani (1985), ver la ecuación 8.

Para poder desarrollar la formula será necesario encontrar los valores de temperatura a través de la data histórica de SENAMHI.

### Temperaturas máximas, mínimas y medias – Estación la Joya

A través de la data histórica de SENAMHI se pudieron determinar las temperaturas altas, medias y bajas anuales de la zona geográfica cercana a la vía de acarreo.

**Tabla 22.**

*Temperaturas máximas cercanas a la vía de acarreo – Estación la Joya*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp.Max.	27.9	27.9	27.2	26.9	28.1	27.3	27.8	27.3	27.3	28.2	28.2	27.9	27.7

Nota: Extraído de SENAMHI

**Tabla 23.**

*Temperaturas mínimas cercanas a la vía de acarreo – Estación la Joya*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp.Max.	13.4	13.0	13.1	11.2	10.0	8.0	7.7	8.1	8.7	9.5	9.1	12.1	10.3

Nota: Extraído de SENAMHI

**Tabla 24.**

*Temperaturas medias cercanas a la vía de acarreo – Estación la Joya*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp.Max.	20.6	20.4	20.2	19.0	19.0	17.6	17.7	17.7	18.0	18.9	18.7	20.0	19.0

Nota: Extraído de SENAMHI

**Radiación solar extraterrestre**

La radiación solar extraterrestre es que llega a la parte exterior de la atmosfera, la cual llegaría al suelo si no existiera atmosfera. Esta es representada por los autores como Ra y puede ser determinada a través de tablas en relación a las latitudes del lugar y el mes (Allen et al., 1998).

Para determinar la radiación extraterrestre de Arequipa fue necesario conocer la latitud y hemisferio en el que se ubica la ciudad y luego ubicarlo en la tabla siguiente:

**Tabla 25.**

*Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día*

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Nota: Elaborado por Allen (1998)

Considerando que Arequipa se encuentra en el hemisferio sur, y su latitud es  $16.3989^{\circ}$  S (Coordenadas GD), se puede determinar que sus valores de radiación solar extraterrestre son los siguientes:

**Tabla 26.**

*Radiación solar extraterrestre mensual de Arequipa – hemisferio sur*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp.Max.	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8	14.3

Nota: Extraído de SENAMHI

La radiación solar extraterrestre anual de Arequipa es de  $14.3 \text{ MJulios/m}^2/\text{día}$ .

### Calor latente de vaporización

El calor latente de vaporización es la cantidad de calor que se suministra o retira de una sustancia para que se produzca un cambio de fase, esta sustancia se evapora. Debido a que la sustancia que se utilizará en el sistema es agua, al ser una sustancia conocida ya se tiene registrado su valor teórico respecto al calor latente de vaporización. Siendo su valor de  $2257 \text{ KJ/Kg}$ .

Una vez conocidos todos estos valores se resuelve la fórmula de evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), ver la ecuación 8.

El resultado final de evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) en metros (m) es de  $0.0022$ . Para realizar el cálculo de la evapotranspiración de riego ( $E_{Tr}$ ) se deberán cambiar las unidades a milímetros (mm) en donde el valor de  $E_{To}$  sería  $2.2$ .

Obtenido este resultado se puede desarrollar la ecuación 7, en donde el resultado final de la evapotranspiración de riego ( $E_{Tr}$ ) sería  $0.88 \text{ mm}$ .

Con este resultado es posible obtener la Lámina de Riego (L.R.), esta variable es el espesor de capa de agua que puede cubrir una superficie de tierra. Este espesor representa los

volúmenes de agua necesarios para regar una superficie, en donde aplicando la ecuación 9 obtenemos un valor de 1.26 mm.

Finalmente, para hallar el volumen de agua requerido es necesario multiplicar el factor lamina de riego por el área total de la vía de acarreo en metros cuadrados.

De acuerdo a la investigación realizada el ancho de vía tiene un valor promedio de 3.50 metros, mientras la longitud total es de 1945.10 metros. Por lo tanto, la vía tiene un total de 6807.85 metros cuadrados.

Como el factor Lamina de Riego en metros es igual a 0.00126, entonces, el volumen total de agua requerido para realizar la mitigación de la vía de acarreo es de 8577.891 litros de agua.

Para realizar la comparación del consumo de agua entre un riego tradicional con el sistema de aspersión propuesto bajo las mismas condiciones de evaporación y factores climáticos se deberá reemplazar el factor eficiencia de riego y volver a realizar la operación de cálculo del volumen de consumo final de agua. Entonces:

De acuerdo con Pereira et al. (2010), la eficiencia de riego tradicional es de 0.3, por lo tanto, la lámina de riego requerida es de 2.93 mm (ver ecuación 9).

Finalmente, para hallar el volumen de agua que actualmente se utiliza con riego tradicional, es necesario multiplicar el factor lamina de riego por el área total de la vía de acarreo en metros cuadrados.

De acuerdo a la investigación realizada el ancho de vía tiene un valor promedio de 3.50 metros, mientras la longitud total es de 1945.10 metros. Por lo tanto, la vía tiene un total de 6807.85 metros cuadrados.

Como el factor Lamina de Riego en metros es igual a 0.00293, entonces aplicando la ecuación 10, el volumen total de agua utilizada actualmente para realizar la mitigación de la vía de acarreo es de 19947.001 litros de agua. Podemos determinar que la cantidad de litros totales disminuidos son 11,369.11 litros por regado, si lo multiplicamos por los 4 riegos que se harán nos da 45,476.44 litros por día, y lo multiplicamos por 30 días que es un mes y por 12 porque el año tiene 12 meses nos da 16,371,518.4 litros, sin embargo una familia según SEDAPAR consume 20 cubos al día aproximadamente, si transformamos los litros a cubos tenemos 16,371.5184 cubos los cuales se dividen entre 20 nos da 818, lo cual quiere decir que podemos dar en un mes agua a 818 familias si se divide entre 12 podemos dar agua a 68 familias mensualmente por 1 año.

#### 4.2.6. Resultados obtenidos: Recuperación del Capital

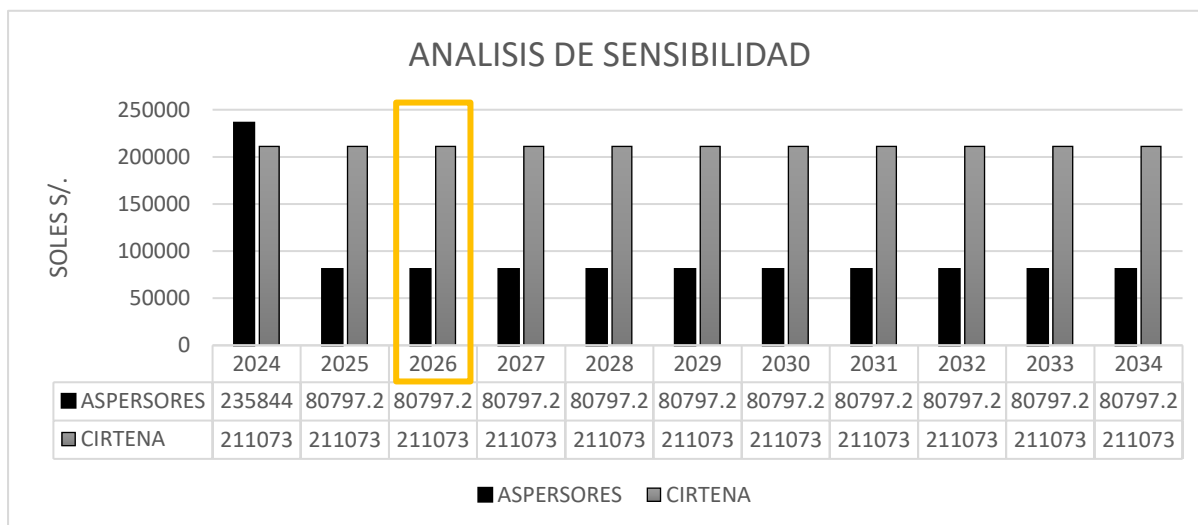
Teniendo los siguientes datos

- Longitud de la vía de acarreo: 1945.10 metros
- Ancho operativo de la vía: 3.50 metros
- Superficie total= $1945.10\text{m} \times 3.50\text{m} = 6807.85\text{m}^2$
- Costo anual de utilización de la nueva metodología: S/. 80,797.16
- Costo anual de utilización de la metodología tradicional: S/. 211,072.93
- Capital de la implementación sin IGV S/. 199,867.66
- Capital de la implementación con IGV S/. 235,843.84

Podemos estimar en cuanto tiempo se recuperará el capital invertido, el cual se calcula dividiendo la inversión inicial con IGV, sobre el costo anual de utilización de la metodología tradicional menos el costo anual de utilización de la nueva metodología, lo cual nos indica que el capital se recuperará en un tiempo de 2 años y 10 meses.

**Tabla 27.**

*Tabla de Análisis de sensibilidad.*



Nota: Elaboración propia

Existe un margen de S/. 933,643.02 en una evaluación de 10 años en el VPN a favor del sistema de aspersores.

#### **4.2.7. Resultados obtenidos: Obtención de ganancias**

Para generar en cuanto tiempo obtendré la ganancia se calcula primero el costo total anual que es la suma del costo anual de mano de obra más costo anual de ANA más el costo anual de SEDALIB y más el costo total anual por aspersor por el número de aspersores. el cual nos da un total de S/. 80,797.16. El tiempo de obtención de ganancias se calcula dividiendo el capital inicial entre el ingreso total anual el cual da un tiempo de 2 años y 10 meses, a esto se le suma un mes, ya que, el resultado anterior es el tiempo que nos demoraremos en recuperar el capital, entonces obtendremos ganancias un mes después de recuperar el capital.

## DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La línea base de investigación de este estudio es la de minería y medio ambiente, la cual tiene como meta estudiar diferentes modelos, procesos, técnicas, metodologías y herramientas para cuidar, gestionar y conservar el medio ambiente y su relación con las actividades mineras. Debido a ello se propone diseñar un sistema inteligente de riego por aspersión y de esta manera mitigar el polvo que se genera en las rutas de acarreo del predio minero analizado.

Para poder cumplir con la meta planteada fue necesario que se describieran adecuadamente las características de los tramos de transporte, para ello se utilizó la metodología de Marinovich (2016) y el Manual de Carretera del MTC (2015), en donde se pudo concluir que la vía de estudio puede clasificarse como una vía de acarreo subestándar, debido a que no se ha tomado en cuenta aspectos tales como el diseño de la vía, la seguridad, conservación y operatividad.

Respecto al análisis y descripción de los efectos o consecuencias que origina la polución al ambiente, se concluyó que respecto al material particulado menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ), la mayor fuente de origen es la erosión natural en la zona, dependiendo de las características geográficas de cada punto (muchas zonas presentan zonas totalmente áridas, algunas otras tienen coberturas vegetales), también el factor de uso es diferenciado, muchas zonas presentan actividades relacionadas con la agricultura, o de trabajo minero, estas variables afectan en los niveles de material particulado.

Respecto al material particulado respirable de diámetro menor a 2,5 micras ( $PM_{2.5}$ ), se pudo determinar que existe una gran variabilidad en los resultados, en donde el punto Tinajones-4 presenta un mayor nivel de concentración. Estos datos obtenidos se relacionan con la ubicación de los puntos en donde se monitorearon las partículas. En este estudio se

determinó que el punto Tinajones-4 presenta la mayor cantidad de material particulado debido a que este se encuentra ubicado cerca a los depósitos de relaves de las operaciones mineras y canteras de agregados, debido al constante flujo de vehículos pesados en vías no asfaltadas es que se observaron cantidades de material particulado acumulado hasta  $69.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Respecto al diseño del sistema de riego inteligente implementado y su comparación con el tradicional, se pudo determinar que los costos totales actuales de mitigación ambiental alcanzan un valor de S/. 211,072.93. Dentro de esta cantidad total se pueden identificar los costos operativos (costo requerido para administrar el negocio diario), los cuales están relacionados con el costo de agua, combustible, lubricantes, mantenimiento, remuneraciones, entre otros.

Si se mantuviera este tipo de sistema tradicional de mitigación ambiental por 10 años alcanzaría un valor de S/. 2,110,729.30. Por otro lado, el costo total anual del sistema implementado en la propuesta sería de S/. 70,663.36 solo considerando los aspersores operativos que son 125, sin embargo, si consideramos los 144 aspersores la proyección a 10 años manteniendo todos los valores establecidos en las operaciones anteriores se tendría como valor final: S/. 807,971.60. También se estima que la recuperación del capital de S/. 235,843.84 será en 2 años y 10 meses, y la obtención de ganancias comenzará en el mes siguiente después de la recuperación del capital, con una cantidad de S/. 10,856.31 mensuales.

También se obtuvo que para regar toda el área de la vía seleccionada se requieren 8,577.891 litros de agua por regado, lo cual es un ahorro del recurso hídrico puesto que antes de la implementación de la propuesta se necesitaban 19,947.001 por regado, haciendo la resta se puede determinar que se ahorra un total de 11,369.11 litros de agua por regado.

Respecto al aspecto económico, al realizar la comparación del sistema de mitigación ambiental tradicional con el sistema de mitigación ambiental propuesto podemos ver que existe una diferencia anual de S/. 130,275.77 de gastos de implementación, siendo más caro continuar con el sistema tradicional. Al implementar el sistema propuesto, en una evaluación de 10 años se logrará un VPN de S/. 933,643.02.

Respecto al ahorro del recurso hídrico, la presente propuesta es posible ahorrar 11.369.11 litros de agua por regado, para realizar la mitigación de la vía de acarreo bajo las mismas condiciones climáticas y de evaporación que la propuesta actualmente implementada. Para este análisis se consideró en la evaluación factores como: temperaturas máximas, mínimas y medias de acuerdo a la información dotada por la Estación la Joya, la radiación solar extraterrestre, el calor latente de vaporización.

Duran y Peña (2018), en su investigación tuvieron como finalidad reducir la cantidad de agua empleada para mitigar el polvo de las vías que transportan materia prima en una minera. Los autores pudieron concluir que es posible aplicar múltiples soluciones, como la aplicación de productos industriales o aditivos, lo cual reduce la cantidad de agua empleada, aunque a un costo ambiental. La presente investigación también tiene por finalidad reducir la cantidad de agua para mitigar el polvo, pero con otro enfoque, en este caso se propone aplicar un sistema inteligente de riego por aspersión, el cual ha sido validado a través de una muestra experimental, en donde se puede observar las variables de medición.

Sadeghi et al. (2017), en su investigación tuvieron como finalidad conocer la influencia del viento y la evaporación en un sistema de riego por aspersión, en donde se pudo concluir que la descarga de los rociadores de agua se comporta de forma muy variable en función a los diferentes cambios de las variables atmosféricas como la dirección y la velocidad de los vientos. En la investigación realizada también se consideraron las variables

climáticas, en este caso para determinar los volúmenes de agua requeridos para regar la vía de acarreo, por ello se consideraron criterios como la evapotranspiración, las temperaturas máximas, medias y mínimas, la eficiencia de riego del aspersor y el calor latente del ambiente.

Pacheco (2020), en su investigación tuvieron como objetivo implementar un sistema de mitigación de polvo en una planta de agregados. En donde se obtuvo como resultados que para que el sistema propuesto cumpla con su función de forma eficiente es necesario que primero se haga una evaluación adecuada del lugar en donde se implementará el sistema, considerando valores como el tipo de suelo, los factores meteorológicos, la dimensión del terreno, la capacidad hídrica entre otras. En la investigación realizada, también se evaluaron estos principios, por ello se recurrieron a documentos confiables como el Manual de Carreteras del MTC (2015) y MINEM (2011), por mencionar algunos, para determinar el método de evaluación de la vía de acarreo, el tipo de suelo de la vía de acarreo y los factores climáticos de la zona.

## CONCLUSIONES

Respecto al objetivo 1: Se puede concluir respecto a los requerimientos de hardware y software que para el sistema implementado se utilizaron una serie de componentes electrónicos como: Un sistema de control Arduino Mega, un Módulo WIFI ESP8266, un sensor de humedad, módulos relé, una bomba de agua, así como plataformas IoT 4.1.8 y THINGer.IO, los cuales permitirán gestionar la información recibida a través de los sensores para poder determinar los valores de humedad o temperatura del sistema de riego implementado.

Respecto al objetivo 2: Se puede concluir respecto al diseño del sistema de riego inteligente que los principales requerimientos son: un sensor de temperatura y humedad de ambiente, un sensor de humedad (higrómetro), electroválvulas, bomba de agua, placa Arduino Mega y módulo ESP8266, una computadora personal (PC) y/o dispositivo móvil con acceso a internet. El proceso de construcción del sistema inteligente de regado no es complicado, al contrario, es sencillo, de fácil uso y la plataforma es muy amigable.

Respecto al objetivo 3: Se puede concluir respecto al consumo de agua destinada para la mitigación de la vía de acarreo que, para poder estimar el volumen de agua de forma adecuada es necesario considerar los requerimientos hídricos en función al lugar en donde se implementará la propuesta, por ello se consideraron factores como: evapotranspiración de referencia, calor latente, radiación y temperaturas ambientales. Finalmente se obtuvo que para regar toda el área de la vía seleccionada se requieren 8577.891 litros de agua por regado, lo cual es un ahorro del recurso hídrico puesto que antes de la implementación de la propuesta se necesitaban 19947.001 litros de agua por regado, haciendo la resta se puede determinar que se ahorra un total de 11369.11 litros de agua por regado. Al año se está ahorrando un total de 16371.5184 m<sup>3</sup>.

## RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda evaluar las características de las vías de acarreo a través de diferentes metodologías, compararlas y definir un criterio de valoración completo, puesto que muchos manuales o protocolos de evaluación tienen diferentes conceptos o criterios de conservación u operatividad en el diseño de vías que dificultan la comprensión y confiabilidad en la evaluación de las vías. De acuerdo a estas características la vía seleccionada no pertenece a ninguna clasificación del Manual de Carreteras del MTC (2015) o de Marinovich (2016), debido a que no se han considerado muchos aspectos relacionados con el diseño de la vía y la seguridad. Se puede concluir que la vía presenta características deficientes a los estándares establecidos por ambos manuales citados anteriormente.

También se recomienda complementar las investigaciones realizadas por el Ministerio del ambiente (MINAM) o el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) respecto a los efectos de la polución de la operación minera para tener una apreciación in situ de las condiciones ambientales. Es necesario precisar que para la evaluación de la polución se requiere cierto financiamiento que permitirá adquirir o alquilar todos los implementos técnicos (normas) y equipos e instrumentos necesarios.

Se recomienda utilizar los requerimientos de hardware y software utilizados en esta investigación puesto que se ha demostrado que su operatividad es factible, aun así, es posible complementar los instrumentos y equipos utilizados con nuevos equipos, los cuales podrían medir otras características ambientales además de la humedad y la temperatura.

Se recomienda que para estimar la cantidad total de agua utilizada en cualquier sistema de mitigación se utilicen métodos corroborados que evalúen las condiciones climáticas de la zona en donde se aplicará el sistema y de esta manera tener una estimación confiable de los recursos hídricos necesarios, tal cual como se realizó en esta investigación,

aunque los factores y métodos podrían complementarse o reemplazarse en función a los instrumentos y recursos disponibles.



**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ADRA (2009). Manual de operación y mantenimiento de sistema de riego por goteo, Portafolio de Desarrollo de Infraestructura y Servicios Básicos, Centro de Aplicación Editorial Imprenta Unión, Lima, Perú.
- Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper
- Brauer, D., Giubergia, A., & Gil-Costa, G. (2019). Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros. *Minería y Geología*, 35(2), 165-182.
- Recuperado de  
[http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3\\_No2\\_2019](http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3_No2_2019)
- Cáceres López, J. M. (2017). Determinación del coeficiente (kc) para el cultivo de pprika (*Capsicum Annuum* l.) var. "Papri Queen" bajo condiciones de la Irrigación Majes. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Castan, D. (2000). Perspectivas de Valoración Económica del Agua en Guatemala. Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (PMIRH), Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Guatemala.
- Cuevas Romo, A., Hernández Sampieri, R., Leal Pérez, B. E., & Mendoza Torres, C. P. (2016). Enseñanza-aprendizaje de ciencia e investigación en educación básica en México. *Revista electrónica de investigación educativa*, 18(3), 187-200.
- El Peruano, D. O. (2005). Ley general del Ambiente N 28611. Lima.: El peruano.
- Espejo, P., & Emmanuel, J. (2020). Diseño de un sistema para el control de polvo en plantas de agregados en Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.

- Huamaní Ccallo, E. (2017). Automatización de mitigación de polvo para fajas de una planta de agregados. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olgún, A. (2015). Riego por Goteo. San Juan, Argentina: Unidad para el Cambio Rural. Obtenido de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_riego\\_por\\_goteo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf)
- Llique Gallardo, R. L. (2017). Calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Marinovich Azabache, F. A. (2016). influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo pampa verde, minera la zanja-Cajamarca. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú
- Martínez-Cob, A., Zapata Ruiz, N., & Sánchez Marcos, I. (2010). Viento y riego: la variabilidad del viento en Aragón y su influencia en el riego por aspersión. Institución Fernando el Católico.
- MINAM. (2014). Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014. Ministerio del Ambiente (MINAM), Viceministerio de Gestión Ambiental y Dirección General de Calidad Ambiental. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- MTC. (2014). Manual de carreteras diseño geométrico DG-2014. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Núñez, A. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú: La Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. DGIAR.
- Peña, D., & Durán, M. (2018). Métodos de Supresión de Polvo para evitar el gasto excesivo del recurso Hídrico en la Minería. Viña del Mar, Chile.
- Ren, Ting & Wang, Zhongwei & Cooper, Graeme. (2014). CFD modelling of ventilation and dust flow behaviour above an underground bin and the design of an innovative dust

- mitigation system. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 41. 241–254.  
10.1016/j.tust.2014.01.002.
- Rincón Suso, L. (2007). *Sistemas de riego: Conservación del agua*. In 4° Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Guadalajara-Jalisco, México, 1-5 Octubre 2007 (pp. 869-881). Universidad de Guadalajara.
- Rojano Alvarado, R. E. (2017). *Determinación del aporte de fuentes a la contaminación del aire por material particulado en el área minera del Cerrejón (La Guajira, Colombia) a través del modelo de receptor CMB*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- SAA, S. M. C. V. (2011). *Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde*.
- Sadeghi, Hossein & Peters, Robert & Shafii, Bahman & Amini, Mohammad & Stockle, Claudio. (2016). Continuous variation of wind drift and evaporation losses under a linear move irrigation system. *Agricultural Water Management*. 182.  
10.1016/j.agwat.2016.12.009.
- Sánchez, R. A., & Mata Vásquez, H. (2006). *Cálculo de volúmenes de agua para riego por goteo en el cultivo de jitomate en la planicie huasteca (No. AV/0217)*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- Santra, Priyabrata. (2020). Performance evaluation of solar PV pumping system for providing irrigation through micro-irrigation techniques using surface water resources in hot arid region of India. *Agricultural Water Management*. 245. 106554.  
10.1016/j.agwat.2020.106554.
- Ulate-Castillo, A., & Vargas-Sobrado, C. (2018). Control de polvo en caminos no pavimentados. *Boletín Técnico PITRA-Lanamme UCR*. Volumen 9, N.º6
- Villacís Stacey, M. B. (2012). *Diseño de un sistema de riego por aspersión (Bachelor's thesis)*. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador

Yabar Baños, C., Aramburú Rojas, V., & Tinoco Ángeles, F. (2020). Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en el área de chancado del sector de San Nicolás-Marcona. *Industrial Data*, 23(1), 23–38. <https://doi.org/10.15381/idata.v23i1.16548>



## ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN

### - ARDUINO MEGA

## MB0014: OEM ARDUINO MEGA 2560



#### Descripción:

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serie, sin embargo posee un convertidor USB-SERIE, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras.



## Características

Microcontrolador: ATmega2560.  
Voltaje Operativo: 5V.  
Voltaje de Entrada: 7-12V.  
Voltaje de Entrada (límites): 6-20V.  
Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).  
Pines análogos de entrada: 16.  
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.  
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA.  
Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader).  
SRAM: 8KB.  
EEPROM: 4KB.  
Clock Speed: 16 MHz.

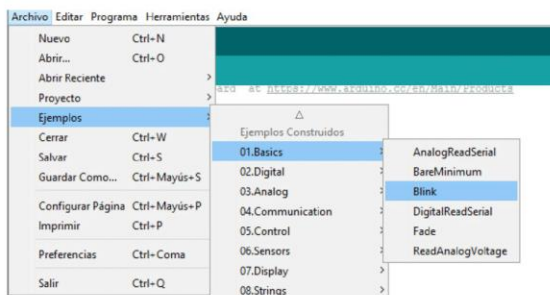
## Primeros Pasos

Para cargar el primer sketch debe tener instalado el IDE de Arduino en su computadora, que se debe descargar de la siguiente página:

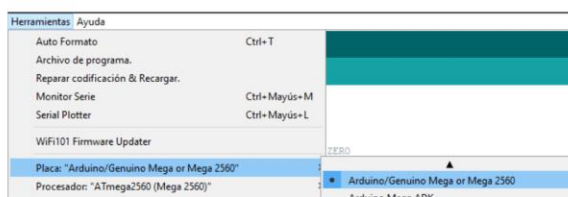
<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Una vez instalado el software, diríjase a la pestaña:  
Archivo ->Ejemplos-> Basics  
Deberá elegir Blink  
Posteriormente deberá elegir la placa en:  
Herramientas-> Placa -> Arduino/Genuino Mega or Mega2560  
Conecte su placa y a continuación vaya a:  
Herramientas->Puerto  
Elija el puerto COM que su PC asignó a su placa.

## Elección del ejemplo



## Elección de placa y puerto



## Código de ejemplo

```
// void setup() {  
  // inicializa como pin digital LED_BUILTIN y lo declara  
  // como salida.  
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
}  
  
//el ciclo loop que indica que las funciones que estén dentro  
//de el se realizaran indefinidamente.  
void loop() {  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // enciende el LED  
  delay(1000); // lo deja un segundo encendido  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // apaga el LED  
  delay(1000); // lo apaga por un segundo  
}
```

Para Finalizar debe Compilar y Cargar el programa. En la flecha que indica subir:



AG Electrónica S.A. de C.V.  
República del Salvador N° 20  
Segundo Piso  
Teléfono: 5130 - 7210

<http://agelectronica.com/AG/>

Rev 1. RMG

Fecha: 20/10/2017

Rev 2. BMF

**AG** Electrónica  
¿Qué vamos a innovar hoy?

- BOMBA DE AGUA

CLIENTE	SODIMAC	FECHA	13/10/16
PRODUCTO	FICHA - BOMBAS DE AGUA	TROQUEL	
MEDIDAS	10cm x 13cm	COLORES	



**kreativo**  
advertising

**BOMBA PEDROLLO CPM 660M 2 HP**

**Caudal**  
130 lts/min

**Potencia**

**2 HP**

**Altura máx**

**42.5**  
**mts**

**Diámetro**  
**entrada/salida**

**1 1/4"**  
**/ 1"**

PRODUCTO N°

SKU 477729

- ELECTROVÁLVULA

**Electroválvulas CEME - Servocomandada**

**Serie 85**



Presión mínima	0,25 bar
Presión máxima	ac 10 bar / cc 10 bar

	Potencia Bobina	
	ca	cc
~	13,5 VA	-
=	-	10 W

Temperatura máxima			Ambiente 80 °C
NBR	EPDM	VITÓN	
90 °C	140 °C	150 °C	

Fluidos							
agua	aire	vapor	gas	gas inerte	aceites ligeros	aceites pesados	gas-óleo
•	•				•		

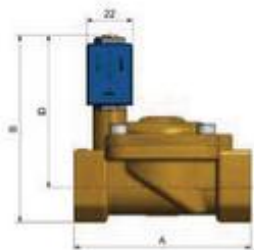


**Conector tripolar**  
UNI ISO 6952 - IP65



**Bobina B4**

CÓDIGO	Dimensiones mm			
	A	B	C	D
8554	61	80	48	67
8555	84	89	54	72,5
8556	97,5	97,5	64,5	77,5



**ORGANOS INTERNOS EN ACERO INOX**

Los precios indicados, incluyen bobina y conector

Código	Conex.	Ø int. (mm.)	KV (m³/h)	Tensión	Membrana
851310N12	3/8"	12	1,86	230 V ca	NBR
851311N12	3/8"	12	1,86	24 V ca	NBR
851321N12	3/8"	12	1,86	24 V cc	NBR
855410N12	1/2"	12	2,10	230 V ca (*)	NBR
855411N12	1/2"	12	2,10	24 V ca (*)	NBR
855413N12	1/2"	12	2,10	12 V ca (*)	NBR
855421N12	1/2"	12	2,10	24 V cc (*)	NBR
855423N12	1/2"	12	2,10	12 V ca (*)	NBR
855510N20	3/4"	20	5,70	230 V ca (*)	NBR
855511N20	3/4"	20	5,70	24 V ca (*)	NBR
855513N20	3/4"	20	5,70	12 V ca (*)	NBR
855521N20	3/4"	20	5,70	24 V cc (*)	NBR
855523N20	3/4"	20	5,70	12 V cc (*)	NBR
855610N25	1"	25	9,60	230 V ca (*)	NBR
855611N25	1"	25	9,60	24 V ca (*)	NBR
855613N25	1"	25	9,60	12 V ca (*)	NBR
855621N25	1"	25	9,60	24 V cc (*)	NBR
855623N25	1"	25	9,60	12 V cc (*)	NBR

(\*) Bajo demanda, membranas en EPDM y VITÓN.

## - MEDIDOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA

29/4/22, 16:35

Medidor de Humedad y Temperatura UNI-T UT-333BT Portatil Termohigrometro psicrómetro con Bluetooth

# AibiTech

Lo buscas, Lo encuentras aquí

Electronica Instrumentos de Medicion > Medidor Humedad Temperatura > Medidor de Humedad y Temperatura UNI-T UT-333BT Portatil Termohigrometro psicrómetro con Bluetooth



### ¡PRODUCTO EN OFERTA!

Medidor de Humedad y Temperatura UNI-T UT-333BT Portatil Termohigrometro psicrómetro con Bluetooth  
Model UT-333BT

Condición Nuevo

# UNI-T®

Medidor de Humedad y Temperatura UNI-T UT-333BT Portatil higrometro psicrómetro con Bluetooth

Los medidores de temperatura y humedad UT333 / UT333BT pueden medir, procesar datos y mostrar resultados en la pantalla LCD. UT333BT puede transferir datos de medición a través de bluetooth a la aplicación móvil personalizada de UNI-T (iENV) para su posterior análisis, almacenamiento y exportación. iENV se puede descargar desde Google Play, Apple Store o el sitio web de UNI-T buscando 'iENV'.

¿Chatear? - En línea

<https://www.aibitech.com/electronica-instrumentos-de-medicion/medidor-humedad-temperatura/medidor-de-humedad-y-temperatura-uni-t-ut-333bt-por...> 1/4

EN STOCK

Advertencia: ¡Últimos artículos en inventario!

**S/. 135.00**  
**Precios Incluye IGV**

Cantidad:

ACEPTAMOS



MÁS

## Medidor de Humedad y Temperatura UNI-T UT-333BT Portatil higrómetro psicrómetro con Bluetooth

Los medidores de temperatura y humedad UT333 / UT333BT pueden medir, procesar datos y mostrar resultados en la pantalla LCD. UT333BT puede transferir datos de medición a través de bluetooth a la aplicación móvil personalizada de UNI-T (iENV) para su posterior análisis, almacenamiento y exportación. iENV se puede descargar desde Google Play, Apple Store o el sitio web de UNI-T buscando 'iENV'.

### Aplicaciones:

Almacenamiento y transporte de granos, gestión de archivos, gestión de materiales, silvicultura y cría de animales, atención médica, experimento de enseñanza, sector público, hogar y otros.

1. Rango de medición de temperatura: -10 ~ 60 °C / 14 ~ 140 °F
2. Rango de medición de humedad: 0 ~ 100% HR
3. Peso ligero, diseño ergonómico, interfaz fácil de usar
4. Modos MAX / MIN, indicación de batería baja, encendido automático off

### FICHA TÉCNICA

Especificaciones	UT333 BT
Temperatura	-10°C~60°C
	14°F~140°F
Precisión de la temperatura	±1.0°C/±2.0°F

[¿Chatear? - En línea](#)

<b>Resolución de la temperatura</b>	0.1°C/0.2°F
<b>Humedad</b>	~ 0% de humedad relativa del 100% de humedad relativa
<b>Precisión de la humedad</b>	± 5 % RH
<b>Resolución de humedad</b>	0.1% HR
<b>Tasa de muestreo</b>	1 / s
<b>Características</b>	
<b>APP</b>	√
<b>Bluetooth®</b>	√
<b>Indicación de sobrecarga</b>	OL
<b>MAX / MIN</b>	√
<b>Retención de datos</b>	√
<b>Selección °C / °F</b>	√
<b>LCD luz de fondo</b>	√
<b>Apagado automático</b>	5 min
<b>Indicación de batería baja</b>	3V ~ 3.5V
<b>Características Generales</b>	
<b>Poder</b>	Batería de 1.5V (R03) x 3
<b>Monitor</b>	32 mm x 26 mm
<b>Color del producto</b>	Rojo y gris
<b>Peso neto del producto</b>	102g
<b>Tamaño del producto</b>	155 mm x 50 mm x 28 mm
<b>Accesorios estandar</b>	Las pilas
<b>Embalaje individual estándar</b>	Blisters, manual en inglés
<b>Cantidad estándar por caja</b>	20 piezas

¿Chatear? - En línea

- ORDENADOR PERSONAL

## LAPTOP ASUS VIVOBOK PRO 15 OLED K3500PA-L1042W INTEL CORE I5 512GB 8GB 15.6"

SKU: 2004288232762P

(Sin Calificaciones)



Protección ocular  
Con menos luz azul dañina



Normal

S/ 4,399

Internet

S/ 3,099

**Tarjeta Ripley**

**PHOS S/ 2,999**

Descuento

◀ -32%

Características destacadas

- Procesador: Intel Core i5
- Memoria RAM: 8GB
- Disco Duro: 512GB SSD
- Tarjeta gráfica: Intel Iris X Graphics
- Tipo de disco duro: SSD

[Ver más características](#)

Con tarjeta Ripley  
acumulas **2399** RipleyPuntos GO



Retiro en Tambo y otros puntos **GRATIS**

Disponible



Agregar a la bolsa



Consulta disponibilidad de despacho

departamento

Selecciona tu departamento

### LOS CLIENTES QUE VIERON ESTE PRODUCTO TAMBIÉN VIERON

<p>ACER LAPTOP ACER A515-45 15.6" ... S/2,099 <b>S/ 2,699</b></p>	<p>ACER LAPTOP ACER ASPIRE 5 INT... S/3,199 <b>S/ 2,499</b></p>	<p>ACER LAPTOP ACER A... S/3,199 <b>S/ 2,499</b></p>
---	---	--



Agregar a la bolsa



Agregar a la bolsa



Agre

[ESPECIFICACIONES](#)

[DESCRIPCIÓN](#)

[COMENTARIOS](#)

[CAMBIOS Y DEVOLUCIONES](#)

29/4/22, 16:40

Ripley - LAPTOP ASUS VIVOBOOK PRO 15 OLED K3500PA-L1042W INTEL CORE I5 512GB 8GB 15.6"

Marca	ASUS
Modelo	K3500PA-L1042W
Procesador	Intel Core i5
Memoria RAM	8GB
Disco Duro	512GB SSD
Peso (kg)	1.65 Kg
Tarjeta gráfica	Intel Iris X Graphics
Tipo de Producto	Laptops
Sistema operativo	Windows 11
Velocidad del procesador	3.1GHz
Memoria caché	8M
Tipo de memoria RAM	DDR4
Tipo de disco duro	SSD
Tamaño de pantalla	15.6"
Tipo de pantalla	OLED FHD

[Ver más](#)

[^ Subir](#)

**¿Dudas v consultas? Comunícate al 611-5959**



- ANEMÓMETRO

*4 in 1, + Dew point*

## **ANEMOMETER, HUMIDITY/TEMP.**

**Model : SP-82AH**

**ISO-9001, CE, IEC1010**



**Lutron**  
**LUTRON ELECTRONIC**

***The Art of Measurement***

# ANEMOMETER HUMIDITY/TEMP. METER

Model : SP-82AH

## FEATURES

* 4 in 1 professional environment instruments: 1. Air velocity 2. Air Temp. 3. Humidity 4. Dew point
* Tiny bone shape with lightweight and small size case design are suitable for handling with one hand.
* Wristlet design provides extra protection to the instrument especially for user one hand operation.
* Low-friction ball bearing mounted wheel design provides high accuracy at high and low air velocity.
* High precision humidity sensor with fast response time.
* Built- in microprocessor circuit assures excellent performance and accuracy.
* Concise and compact buttons arrangement, easy operation.
* Memorize the maximum and minimum value with recall.
* °C/°F detection by pressing button on the front panel.
* Hold function to freeze the current reading value.

## GENERAL SPECIFICATIONS

Display	8 mm LCD display
Measurement	1. Air velocity 2. Air Temp. 3. Humidity 4. Dew point
Operating Humidity	Max. 80% RH.
Operating Temperature	0 to 50° C (32 to 122° F)
Over Input Display	Indication of "- - - "
Power Supply	CR 2032 DC 3V battery
Power Consumption	Approx. DC 5 mA
Weight	160g (battery included)
Dimension	HWD 120 x 45 x 20 mm (4.7 x 1.8 x 1.2 inch).

Standard Accessory	Instruction Manual
--------------------	--------------------

## ELECTRICAL SPECIFICATION ( 23 ± 5°C )

### Air velocity, Air Temp.

Unit	Range	Resolution	Accuracy
ft/min	80 to 3937 ft/min	1 ft/min	± 3% F.S. @ F.S. : full scale
m/s	0.4 to 20.0 m/s	0.1 m/s	
km/h	1.4 to 72.0 km/h	0.1 km/h	
MPH	0.9 to 44.7 mile/h	0.1 MPH	
knots	0.8 to 38.8 knots	0.1 knots	
Temp.	0 to 50 °C	0.1 °C	
	32 to 122 °F	0.1 °F	

#### Remark :

*ft/min : feet per minute          MPH : miles per hour*  
*m/s : meters per second          knots : nautical miles per hour*  
*km/h : kilometers per hour*

### Humidity/Temp.

Unit	Range	Resolution	Accuracy
% RH	10 to 95 %RH	0.1 %RH	< 70% RH : ± 4 %RH ≥ 70% RH : ± ( 4 %rdg +1.2 %RH)
Temp.	0 to 50 °C	0.1 °C	± 1.2 °C
	32 to 122 °F	0.1 °F	± 2.5 °F

### Dew point Temp.

Unit	Range	Resolution	Remark
°C	-25.3 to 49.0 °C	0.1 °C	* Calculate from the humidity/Temp. value
°F	-13.5 to 120.0 °F	0.1 °F	

Please refer to [http://en.wikipedia.org/wiki/Dew\\_point](http://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point)

\* Appearance and specifications listed in this brochure are subject to change without notice.

1307-SP82AH

- ASPERSOR DE 150 KPA



**ORBES AGRICOLA** S.A.C.  
Comprometido con la prosperidad del agro peruano

**VYR-26**  
Agrícolas circulares



ref. 102610



ref. 002610



ref. 002630



ref. 002600

26°

18°

1/2"




**Características generales:**

- Aspersor de bajo caudal.
- Conexión macho de 1/2".
- Fabricado en plástico y acero inox.
- Juntas de rotación de alta resistencia.
- Boquillas de bayoneta "click" con código de colores para su fácil diferenciación.

**Especificaciones técnicas:**

- Alcance: 10-12 m.
- Caudal: 168 - 1450 l/h.
- Presión de trabajo: 1,5 - 3,5 BAR.
- Sector: Circular.
- Boquillas: Dos boquillas, una de largo alcance y otra de corto alcance (2,4 x 2,5 mm standar).
- Angulos de trayectoria: 26° y 8°.
- Altura máxima de chorro: 1,8 m y 1 m (ang. bajo).
- Tiempo de rotación: Dependiendo de la presión y boquillas es uniforme y continuo (ajustable).
- Coeficiente de Uniformidad superior al 90% en marcos de 6x6R, 7x5,5T.

**Aplicaciones:**

- Riegos de bajo caudal como algodón, plantas hortícolas, floricultura, fresa y similares.

**Dimensiones:**

- Altura: 12 cm.
- Ancho: 12 cm.
- Peso: 51 gr.
- Unidades por caja: 300.

**Opciones:**

- Montaje estándar o con caperuza anti-helada según petición de pedido.
- Válvulas reguladoras de caudal autocompensantes de 1,5 y 2 BAR.
- Modelo con caperuza para protección anti-helada.
- Dispositivo de conexión "click" a la boquilla secundaria para convertir este modelo en un aspersor sectorial.
- Montado en "kit completo de soporte" sobre estaca galvanizada de 1,3 m. con microtubo y conectores.

**Modelos:**

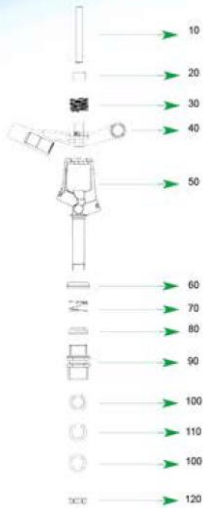
- Ref. 002600: Circular.
- Ref. 002610: Circular con capuchón anti helada.
- Ref. 002630: Compacto aspersor+porta.
- Ref. 102610: Kit sectorial "click-sector".
- Ref. 102660: Herramienta para boquillas.

Av. Los Cipreses N° 140 Sta. Anita – Lima (C. Central / Vía Evitamiento - Costado Mall Plaza Santa Anita)  
Telf.: 362-2343 / 362-3392 / 362-5057 - Móvil: 9999-84708 RPM: #801515 / #864287  
[www.orbesagricolasac.com](http://www.orbesagricolasac.com) - [ventas@orbesagricolasac.com](mailto:ventas@orbesagricolasac.com)



**ORBES AGRICOLA** S.A.C.  
Comprometido con la prosperidad del agro peruano

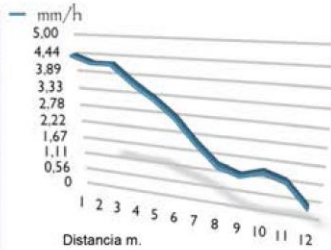
**BAJO CAUDAL VYR-26**



COLOR BOQUILLA	P (Bar)	Q (l/h)	D (m)	Espaciamiento (m) / Precipitación (mm/h)									
				10x10 rect.	10x10 triang.	10x12 triang.	12x12 rect.	12x12 triang.	12x14 rect.	14x14 rect.	14x14 triang.		
2,3 X 1,8 mm	2,5	500	11	5	5	4,2	3,4	3,4					
	3	550	11	5,5	5,5	4,5	3,7	3,7					
	3,5	580	11	5,8	5,8	4,8	4	4					
2,5 X 1,8 mm	2,5	570	10,5	5,7	5,7	4,7	3,9	3,9	3,1				
	3	615	10,5	6,1	6,1	5,1	4,2	4,2	3,4				
	3,5	660	11	6,6	6,6	5,4	4,5	4,5	3,6				
2,8 X 1,8 mm	2,5	680	11	6,8	6,8	5,7	4,7	4,7	4	3,4	3,4		
	3	745	11	7,4	7,4	6,1	5,1	5,1	4,3	3,7	3,7		
	3,5	800	11,5	8	8	6,6	5,5	5,5	4,7	4	4		
3,0 X 1,8 mm	2,5	750	11	7,5	7,5	6,2	5,2	5,2	4,4	3,8	3,8		
	3	835	11,5	8,3	8,3	6,6	5,6	5,6	4,8	4,1	4,1		
	3,5	880	11,5	8,8	8,8	7,0	6,1	6,1	5,2	4,4	4,4		
3,2 X 1,8 mm	2,5	810	11,5	8,1	8,1	6,7	5,6	5,6	4,8	4,1	4,1		
	3	885	12	8,8	8,8	7,3	6,1	6,1	5,2	4,4	4,4		
	3,5	960	12	9,6	9,6	8	6,5	6,5	5,6	4,8	4,8		
3,5 X 2,4 mm	2,5	1040	12	10	10	8,6	7,2	7,2	6,1	5,2	5,2		
	3	1100	12,5	11	11	9,5	7,8	7,8	6,5	5,5	5,5		
	3,5	1180	12,5	11	11	10	8,3	8,3	7	5,9	5,9		
4,0 X 2,4 mm	2,5	1210	12,5	12	12	10,2	8,5	8,5	7,2	6,2	6,2		
	3	1320	13	13	13	11,1	9,3	9,3	7,8	6,6	6,6		
	3,5	1400	13	13	13	11,9	10	10	8,4	7,1	7,1		

CU-85% CU 85-88 % CU 89-92% CU-92%

BAR	3,5
Caudal	960 L/h
Boquillas	3,2 x 1,8 mm
Centro	VYR
Veloc. Rot.	14 seg/rev
Altura	100 cm
Duración	60m
T°	20°C
Veloc. viento	0 m/seg.
Fecha	1/02/2011



Boquillas con código de colores



Herramienta para anclaje de boquillas

STANDARD

**Boquillas**

	1,8 mm.		2,4 mm. rasgada		2,6 mm. cuadrada		2,8 mm.		3 mm.		3,2 mm.		3,6 mm.		4 mm.	
	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.	Lit./h.	Ø mts.
2,0	240	20,8	293	22,4	297	22,8	354	23,6	410	23,5	520	24,9	646	25,6	646	25,6
2,5	269	21,8	319	22,5	356	22,9	392	23,7	455	24,0	565	25,1	722	25,8	722	25,8
3,0	296	22,0	356	22,6	390	23,1	430	23,8	490	24,5	610	25,3	793	25,8	793	25,8
3,5	328	22,5	387	22,9	407	23,3	450	24,0	500	24,5	635	25,5	835	25,9	835	25,9
4,0	340	23,0	428	23,0	413	23,4	460	24,0	510	25,0	650	25,6	860	25,9	860	25,9

Av. Los Cipreses N° 140 Sta. Anita – Lima (C. Central / Vía Evitamiento - Costado Mall Plaza Santa Anita)  
Telf.: 362-2343 / 362-3392 / 362-5057 - Móvil: 9999-84708 RPM: #801515 / #864287  
[www.orbesagricolasac.com](http://www.orbesagricolasac.com) - [ventas@orbesagricolasac.com](mailto:ventas@orbesagricolasac.com)

## ANEXO 2: FOTOGRAFÍAS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA





