



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

**Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes
para mejorar la eficiencia hídrica del cultivo de palta Hass**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Tapia Burga, Heber (orcid.org/0000-0003-0771-1924)

ASESORA:

Mg. Serrepe Ranno, Miriam Marcela (orcid.org/0000-0001-9342-1717)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO, PERÚ

2023

Dedicatoria

La presente tesis la dedico a toda mi familia y amigos en especial a mi madre y mi padre, que han sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la confianza, los consejos y los recursos para poder lograrlo.

Agradecimiento

Le doy gracias a mis padres y hermanos. Por apoyarme incondicionalmente en todo este proceso de mi vida universitaria, empujándome a salir adelante y no rendirme.

A mi madre por ser el pilar muy importante, tanto en inspiración como en fuerza para cada día despertarme con ganas de alcanzar el éxito de luchar por cada una de mis metas, sueños y anhelos.

Declaratoria de autenticidad del asesor



Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SERREPE RANNO MIRIAM MARCELA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Sistema de Riego por Goteo con Procesamiento de Imágenes para Mejorar la Eficiencia Hídrica del Cultivo de Palta Hass", cuyo autor es TAPIA BURGA HEBER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 12 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SERREPE RANNO MIRIAM MARCELA DNI: 06437594 ORCID: 0000-0001-9342-1717	Firmado electrónicamente por: SRANNOMM el 14- 12-2023 09:45:07

Código documento Trilce: TRI - 0694058

Declaratoria de originalidad del autor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, TAPIA BURGA HEBER estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Sistema de Riego por Goteo con Procesamiento de Imágenes para Mejorar la Eficiencia Hídrica del Cultivo de Palta Hass", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
TAPIA BURGA HEBER DNI: 47017389 ORCID: 0000-0003-0771-1924	Firmado electrónicamente por: TBURGAH el 23-12- 2023 11:05:58

Código documento Trilce: INV - 1559885

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor	iv
Declaratoria de originalidad del autor	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de gráficos y figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
I. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variables y operacionalización	14
3.3. Población, muestra y muestreo	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.5. Procedimientos	17
3.6. Método de análisis de datos	18
3.7. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS	19
V. DISCUSIÓN	61
VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	74

Índice de tablas

Tabla 1: Eficiencia de riego según FAO	20
Tabla 2: Cálculo de la evapotranspiración	27
Tabla 3: Precipitación efectiva.....	28
Tabla 4: Valores de cultivo palta Hass	29
Tabla 5: Datos de suelo	30
Tabla 6: Requerimiento de agua etapa inicial	31
Tabla 7: Requerimiento de agua etapa de desarrollo.....	32
Tabla 8: Requerimiento de agua etapa media.....	33
Tabla 9: Requerimiento de agua etapa final.....	34
Tabla 10: Factor de agotamiento.....	36
Tabla 11: Lámina neta total	37
Tabla 12: Lámina bruta total.....	38
Tabla 13: Programación de riego	39
Tabla 14: Variables del estado de suelo	51
Tabla 15: Uniformidad de distribución	59

Índice de gráficos y figuras

Gráfico 1: Eficiencia de recurso hídrico con riego por surco	22
Gráfico 2: Gráfico de variables climáticas	27
Gráfico 3: Variables de precipitación	28
Gráfico 4: Requerimiento de agua en todas sus etapas.....	35
Gráfico 5: Programación de riego.....	40
Gráfico 6: Temperatura máxima y mínima	47
Gráfico 7: Humedad máxima y mínima	48
Gráfico 8: Precipitación efectiva	50
Gráfico 9: Eficiencia del recurso hídrico por surco y goteo	60
Imagen 1: Datos hidrometeorológicos.....	25
Imagen 2: Ubicación de datos climáticos	26
Imagen 3: Características de gotero	41
Imagen 4: Características de cinta	41
Imagen 5: Accesorios para cinta	42
Imagen 6: Características de bomba de agua	43
Imagen 7: Manguera de distribución de agua.....	43
Imagen 8: Características Arduino.....	46
Imagen 9: Características de sensor de temperatura.....	48
Imagen 10: Características de sensor de humedad	49
Imagen 11: Características de sensor de lluvia.....	51
Imagen 12: Sistema de control.....	52
Imagen 13: Teléfono inteligente	53
Imagen 14: Características de Raspberry pi.....	54
Imagen 15: Muestra de suelo seco.....	55
Imagen 16: Imagen procesada suelo seco.....	55
Imagen 17: Muestra suelo Húmedo.....	56
Imagen 18: Imagen procesada suelo Húmedo	56
Imagen 19: Códigos de programación	57

Resumen

En la agricultura la necesidad de agua dulce es de un 70 %, en el futuro los requerimientos de agua pueden aumentar debido a los cambios climáticos, el objetivo principal de la presente investigación es mejorar la eficiencia hídrica en el cultivo de palta Hass. La metodología utilizada para realizar los cálculos correspondientes al riego se desarrolló utilizando Softwares libre, la palta Hass es un cultivo que su requerimiento de agua varía de acuerdo a la etapa de crecimiento. Por lo tanto, los requerimientos de agua son mayores en algunas etapas, para suministrar el agua de forma responsable, se considera importante controlar el riego utilizando un banco de sensores que son, sensor de humedad, sensor de lluvia y sensor de temperatura, implementándose un sistema de monitoreo del estado del suelo, la programación de monitoreo consiste en la toma de una imagen digital con un smartphone, luego es procesada en escala de grises utilizando el Software Python y Raspberry Pi, los resultados del estado del suelo son enviados por WhatsApp al agricultor. Con este sistema se ha logrado mejorar la eficiencia hídrica al 91%, esto representa el ahorro de agua de un 41 % respectivamente a un sistema de riego convencional.

Palabras clave: Sistemas de riego, internet de las cosas, procesamiento de imágenes, agricultura inteligente.

Abstract

In agriculture, the need for fresh water is 70%, in the future water requirements may increase due to climatic changes, the main objective of this research is to improve water efficiency in the avocado Hass crop. The methodology used to perform the irrigation calculations was developed using free software, avocado is a crop whose water requirement varies according to the growth stage. Therefore, the water requirements are higher in some stages, to supply water responsibly, it is considered important to control irrigation using a bank of sensors that are, humidity sensor, rain sensor and temperature sensor, implementing a soil condition monitoring system, the monitoring programming consists of taking a digital image with a smartphone, then it is processed in grayscale using Python and Raspberry Pi Software, the results of the soil condition are sent by WhatsApp to the farmer. With this system it has been possible to improve the water efficiency to 91%, this represents water savings of 41% respectively to a conventional irrigation system.

Keywords: Irrigation systems, internet of things, image processing, smart agriculture.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia del recurso hídrico en la agricultura ha tenido grandes giros en la historia a partir de 1954 cuando comenzó a funcionar un revolucionario sistema de riego mediante una máquina de pivotes. La tecnología ha ido aumentando de manera que ha sido posible la optimización de los sistemas de riego, y esto ha generado mejores resultados en la eficiencia del recurso hídrico. Un sistema de riego que haga un goteo programado de acuerdo a las condiciones del suelo, puede ahorrar hasta un 90% de energía y de agua (Cisneros, 2021). El agua como recurso natural ha sido un tema de estudio de amplia data, intervienen factores como la calidad y cantidad que ha significado una problemática que afecta la eficiencia del agua en la agricultura. Por lo tanto, es vital generar alternativas para satisfacer las demandas alimentarias de la sociedad desde este enfoque, para (Pérez *et al*, 2020), la prioridad es desarrollar sistemas que ayuden a mejorar la eficiencia del recurso hídrico en la agricultura.

En el contexto mundial, los impactos del riego se han estudiado extensamente en varios contextos. Por ejemplo, en Ruanda, se ha utilizado un diseño de discontinuidad de regresión espacial (RDD) en una muestra de 969 cultivadores por cuatro años, y se ha encontrado que el acceso a un sistema de riego por goteo permite una mejora en la eficiencia de riego que han hecho aumentar las ganancias en efectivo en un 70%. En Israel el 80% del agua se usa para el riego en la producción de cultivos, y en esta misma zona del oriente medio se encuentra Cisjordania que utiliza aguas residuales para el riego de sus cultivos al igual que en el territorio palestino, lo que constituye una práctica común para ellos (Craddock *et al*, 2021).

En el caso de América Latina ha sufrido 74 sequías en los últimos 20 años, esto provocó 13.000 \$ millones en pérdidas, debido a los cambios climáticos que impactan negativamente en la agricultura. Por ejemplo, México, tiene una superficie de 31.190.100 hectáreas y sólo 22.136.742 sembradas, sin embargo, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática, ocupa el sexto lugar en el mundo que cuenta con una infraestructura adecuada de riego para 6,5 millones de hectáreas y donde sólo 3.5 millones estas pertenecen a distritos de

riego. Los beneficiados por estos sistemas son 1.3 millones de usuarios y en Argentina por su parte, se contabiliza 90% de pérdidas debido a las variaciones del clima; en Ecuador, hay zonas con siembras de cultivos de ciclos cortos que son desarrollados de manera empírica, por lo tanto, corren el riesgo de ser afectados por poca humedad del suelo y otros factores como plagas o temperatura inadecuada (Pérez et al, 2020).

En relación a Perú, señalan que la inversión en sistemas de riego y el desarrollo económico en el sector agrícola en Perú han tenido una relación positiva según estudios realizados, ya que a mayor inversión en riego el PBI agrario aumentó significativamente en una correlación inversión/producto de 0.21%, pero ello puede cambiar debido al cambio climático, por lo que es necesario implementar acciones inmediatas antes de que se genere una crisis por sequías que afectaría directamente a los cultivos (Ruiton et al, 2022).

En el caso del centro poblado Santa Clara en la provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque la problemática que se presenta es la escasez de agua en esta región, lo dificulta la eficiencia del recurso hídrico por no contar con un sistema óptimo de riego, por lo que se ve afectada la siembra en los meses de sequía.

Ante lo expuesto se formularon los problemas, teniendo como problema general: ¿Cuál es el impacto del Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023? Y los problemas específicos son: a) ¿Cómo impacta el Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023? b) ¿Cómo impacta el Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la aplicación de técnicas intensivas en el uso de recursos de los cultivos en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023?

La investigación se justifica porque la adopción de esta tecnología se fundamenta en lograr el uso eficiente del agua, considerando los cambios climáticos, la contaminación, la sedimentación, la deforestación y el crecimiento

en el sector agrícola los recursos hídricos enfrentan una serie de graves amenazas en la escasez de este recurso en todo el mundo. El sistema de riego por goteo ofrece una distribución precisa y eficiente del agua, lo cual permite un aprovechamiento máximo de este recurso elemental para el éxito de los cultivos. Además, el procesamiento de imágenes brinda una herramienta accesible y de bajo costo para monitorear y controlar el riego. La identificación de factores tales como la humedad del suelo, la temperatura y el crecimiento de las plantas a través de imágenes captadas por el dispositivo, permite una gestión más precisa y oportuna de las necesidades de agua de los cultivos de palta Hass.

La implementación de este sistema de riego por goteo, en combinación con la tecnología del procesamiento de imágenes, promoverá una mejora significativa en la eficiencia del recurso hídrico en el cultivo de palta Hass de la zona, maximizando la eficiencia de riego y contribuyendo así al desarrollo económico y sustentable de la comunidad de Santa Clara Ferreñafe, Lambayeque.

De igual modo, se plantean los objetivos de investigación, teniendo como objetivo general. Mejorar la eficiencia hídrica a través de un sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes en el cultivo de palta Hass en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023. Los objetivos específicos son: a) Diagnosticar la situación actual del sistema de riego en el cultivo de palta Hass en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023. b) Implementar un Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023. Finalmente se planteó la hipótesis de estudio, teniendo como hipótesis general: El Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes mejora la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023.

I. MARCO TEÓRICO

Para sustentar la investigación se establecieron los antecedentes, tanto a nivel internacional como nacional. Entre los antecedentes internacionales destaca Salmán, (2022), a través de su estudio “Sistema Inteligente de Irrigación”, demostró que la tecnología IoT es útil para mejorar la eficiencia de riego debido a que permite una actualización de la información. En este proyecto se realizó la medición de la humedad del suelo para hacer un sistema de riego inteligente automático. El microcontrolador STM32 se utilizó para regular la entrada/salida del sistema usando PWM (modulación ancha del pulso). Este estudio evidenció el gran potencial que posee IoT actualmente, y predice que los sistemas de riego están basados en la inteligencia si se utiliza la tecnología IoT de forma adecuada. El procedimiento se basa en un sensor de humedad que también se utiliza para determinar el porcentaje de nutrientes del suelo (N₂, P₄ y K), y un pH. El monitoreo de estos valores de detección proporciona un riego adecuado y la fertilidad del suelo.

La investigación “Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana”, buscaban la posibilidad de aplicar el internet de las cosas en los sistemas de riego del sector agrícola para automatizar el trabajo en el sector agrícola, aprovechando el incremento de la tecnología, y el uso de sensores. La metodología consistió en programar una placa Node MCU a través de la cual se enviaron datos a una aplicación gratuita de IoT que tiene por nombre ThinkSpeak, que utiliza un BOT de Telegram. El riego es realizado por medio de comandos enviados por el usuario, luego de recibir mensajes acerca de la condición del suelo. Los resultados revelaron el logro del objetivo de realizar el riego en el momento necesario, ahorrando agua y minimizando mano de obra. En conclusión, la investigación demostró la viabilidad del internet de las cosas aplicado en la innovación y la eficiencia del recurso hídrico (Laverde & Laverde, C., 2021).

En la investigación “Sistema de riego inteligente basado en IoT” que utiliza la humedad del suelo y la predicción meteorológica, hizo la propuesta de un riego inteligente basado en IoT, emplearon un algoritmo para detectar mediante sensores la humedad del suelo, temperatura y condiciones ambientales. El riego se produce automáticamente por el uso de estos sensores a través de un microcontrolador,

módulo wifi y aplicación Android. El sensor de humedad del suelo monitorea continuamente el suelo y obtiene datos relevantes que son transmitidos a través de una red inalámbrica y son recibidos por el usuario para controlar el riego. Los datos se transmitieron a un servidor mediante la web, por medio de la red celular. En conclusión, el estudio describió el sistema y afirma que es totalmente funcional, además los resultados de predicción son muy alentadores (Velmurugan et al, 2020).

La investigación “Programación de riego diferencial mediante un algoritmo automático de balance de agua” ajustado por sensores de humedad del suelo, que buscó implementar, los diseños propuestos mediante un programa web experimental, IRRIX, que programó el riego de dos áreas, de diferentes características como el tamaño de los árboles. El sistema automatizado fue comparado con la programación manual a través un balance hídrico clásico y con la evapotranspiración real determinada por un lisímetro de pesaje ubicado en el terreno. Los resultados muestran que el riego aplicado por el sistema automatizado en el sector de los árboles más grandes concordó con la ET determinada por el lisímetro, mientras que el resultado de una retroalimentación diferente de los sensores de humedad del suelo, redujo el riego en el sector de los árboles más pequeños. Este estudio demuestra que el método de balance de agua complementado con sensores de humedad del suelo proporciona una base sólida para la programación de riego automatizado (Domínguez et al, 2020).

En el artículo “Diseño, implementación y validación empírica de un sistema de riego inteligente IoT para aplicaciones de computación en la nube basado en nodos de sensores LoRa y LoRaWAN”, detallaron el desarrollo de un sistema de riego inteligente que tenga la capacidad de cubrir grandes áreas urbanas gracias al uso de nodos sensores Low-Power Wide-Area Network (LPWAN). Los nodos de IoT recopilan datos de temperatura /húmeda del suelo, y temperatura del aire, y controlan el suministro de agua de forma autónoma, ya sea mediante el uso de puertas de enlace de computación en la nube o confiando en comandos remotos enviados desde la nube. Los resultados obtenidos arrojan parámetros útiles que servirán a futuras generaciones que desarrollen el riego inteligente y muestran la precisión de la herramienta que permite optimizar la topología de la red en términos de cobertura, costo y consumo de energía (Míguez, et al, 2020).

Asimismo, se exploraron investigaciones dentro del ámbito nacional, destacando Inga, (2021), en su estudio “Implementación de un sistema automático de riego agrícola”, tuvo como objetivo establecer un sistema de riego automatizado utilizando tecnología basada en Raspberry Pi y UBIDOTS, para la mejora de los procesos de riego a fin de optimizar el recurso hídrico en tres zonas agrícolas. En la metodología se realizó el diseño aplicado experimental, proponiendo un sistema de riego que trabaja a través de 3 minicomputadoras Raspberry Pi 3 (una para cada zona), que se encargan de conectar los sensores DHT11 con el fin de medir la temperatura y humedad del ambiente, un sensor FC-28 para medir la humedad del suelo y dos relés que activan una válvula que controla el riego automáticamente usando la aplicación UBIDOTS, todo esto a través de WIFI. En conclusión, se logró diseñar el sistema de riego automatizado utilizando Raspberry Pi y UBIDOTS, además se pudo implementar el sistema IoT y la arquitectura de red de dispositivos. Se realizaron las pruebas evidenciando la eficiencia del sistema automatizado.

En el artículo “Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en el sector agrícola de la región Tacna”, plantearon como objetivo optimizar el proceso de riego a través de la implementación de un sistema que utiliza el internet de las cosas (IoT) y un sistema de control para alcanzar un rendimiento óptimo en cuanto a producto, energía y tiempo. Se estableció, además, la comparación del sistema de riego IoT con un sistema tradicional. Los resultados obtenidos evidenciaron que el sistema IoT de nombre Damla logró la optimización del agua en un 21,25% de tiempo de riego en el proceso de desarrollo de los cultivos. Se concluye que IoT optimiza el consumo de agua, energía y tiempo para la productividad de cultivos (Acero & Lanchipa, 2021).

En el estudio “Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo”, buscaron aplicar un sistema automatizado de riego a fin de mejorar la eficiencia de recurso hídrico. En primer lugar, se seleccionaron el microcontrolador, los sensores, los relés y el módulo de comunicación. Se procedió a calibrar y validar los sensores, se integraron los códigos de programación y se diseñó una aplicación mediante un dispositivo móvil a fin de controlar el sistema de riego, de esta manera hacer el seguimiento a la humedad del suelo. En la implementación se usaron sensores tanto analógicos como digitales, los aspectos a medir fueron: caudal del

agua, presión, humedad del suelo y nivel del agua. En los resultados se observa una correlación alta entre las variables físicas y eléctricas. En la calibración se obtuvo R^2 entre 0,95-0,99; y en la validación se obtuvo $R^2 = 0,99$. Se comprobó que los sensores enviaron la información al microcontrolador y se activaron los códigos de programa, logrando así el encendido de los relés y que se apagaran las electroválvulas y electrobomba. Todo este proceso se realizó desde un celular utilizando la aplicación “Ardunalm” vía Bluetooth. Se concluye que la automatización es eficiente y permite monitorear el sistema de riego incrementando la eficacia del mismo (Ascencios *et al*, 2020).

En la investigación “Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado para una hectárea de cultivo de durazno en el distrito Isla-Asia, Cañete”, tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de riego por goteo automatizado a fin de mejorar el consumo del agua en el cultivo de durazno. Se propuso la complementación del riego por goteo con un sistema automatizado utilizando un controlador Arduino Mega 2560 y una interfaz visual. En el resultado se obtuvo una cosecha de durazno de calidad y se logró la eficiencia de recurso hídrico con un consumo de menos del 6% en comparación con el riego por el surco. En conclusión, el sistema de riego por goteo automatizado optimizó el consumo de agua por hectárea (Vílchez, (2020).

En la investigación titulada “Riego por goteo subterráneo intermitente controlado vía internet”, tuvo como objetivo identificar la regularidad adecuada de riego para un terreno de césped, utilizando un sistema de riego que realiza un goteo subterráneo. Es un modelo que utiliza el internet mediante una aplicación móvil de nombre “GrootSmart”, que permite que el usuario se conecte con el sistema a fin de controlar las electroválvulas y la bomba, para encender y apagar automáticamente. Este sistema ayudó a hacer el seguimiento de los valores de presión, nivel de agua, caudal y humedad del suelo. Los parámetros evaluados fueron cuantitativos con sensores TDR350 y NDVI. Concluyeron que, la automatización de riego por goteo subterráneo tuvo un efecto positivo, ya que redujo el tiempo de control, mano de obra y gestión del agua de manera eficiente (Arango, (2019).

Por otra parte, se desarrolla las bases teóricas, partiendo por la variable sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes, que ha sido definida como un método que consiste en la distribución del agua a través de tuberías que están ubicadas en los terrenos de cultivos y que son utilizadas para arrojar el agua gota a gota. Es un sistema de irrigación usado mayormente en zonas áridas (Vílchez, 2020). El método de riego por goteo se caracteriza por ser una de las técnicas más eficientes que existen ya que no provoca ningún desperdicio de agua. Por esta razón está garantizado el aprovechamiento del recurso hídrico hasta un 99%. En cuanto al diseño y funcionamiento del sistema, requiere una inversión en equipos, tuberías y mantenimiento (Quijía, 2020). El riego por goteo es aplicado directamente en el suelo. El agua moja únicamente el área donde se ubica la planta, lo que significa un gran ahorro de este recurso. El mecanismo de bombeo es en base a unos goteros que trabajan con presión, esta puede variar de acuerdo a la fuente de agua (Peralta y Urbina, 2022).

Asimismo, se establecieron las dimensiones de la variable sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes, teniendo como primera dimensión al desarrollo y tecnología de sensores. Que es un sistema de riego por goteo que requiere de una red de sensores inalámbricos que recopila información sobre la temperatura, la humedad del suelo y la humedad de un campo en particular y pasa esta información a una estación de servidor central. Seguidamente, se calcula el agua requerida en un campo en particular y esta información es enviada de vuelta al teléfono inteligente del agricultor quien riega los cultivos según lo comunicado por la aplicación (Sami *et al*, 2021). Los valores de datos incluyen principalmente lecturas de temperatura y humedad. La red neuronal entrenada se usará luego para predecir los datos del sensor en el modo de prueba la validación continua del sistema inteligente, utilizando lecturas de sensores tanto físicos como neuronales posee un alto pronóstico de que ocurran fallas (Sami *et al*, 2021). El primer paso consiste en elegir los sensores necesarios para la realización del modelo, comenzando por el sensor de humedad del suelo, y luego los sensores de temperatura/humedad y lluvia. Una vez que los sensores están conectados a la placa Arduino, se comienza a programar la placa para operar los sensores de tal manera que los diferentes datos se agrupen y transmitan en tiempo real (Tace *et al*, 2022).

Los sensores son dispositivos dedicados a la detección ambiental, fluctuaciones y el envío de la información específica a otro dispositivo conectado, generalmente un sistema de control principal (microcontrolador o procesador de computadora electrónica). Los sensores analógicos son dispositivos que producen una señal eléctrica de salida continua o voltaje que es simétrico a la cantidad de entrada que se está midiendo, como la humedad, la presión o la velocidad, mientras que los sensores digitales son dispositivos que producen señales eléctricas de salida discreta o voltajes que son una indicación digital de la cantidad que se está midiendo. Los sensores digitales entregan una señal de salida binaria ('0' o '1') o en forma lógica ("ON" o "OFF") (El Mezouari, *et al*, 2022).

La segunda dimensión son los avances y desarrollos en procesamiento de imágenes. Que fue descrita como la disponibilidad de imágenes de teledetección de muy alta resolución, como el conjunto de datos del Programa Nacional de Imágenes Agrícolas (NAIP) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), así como la constelación de satélites comerciales de muy alta resolución, ofrecen la oportunidad de monitorear eficientemente los sistemas de riego a gran escala. Las imágenes *NAIP* son gratuitas para el público y ofrecen imágenes de muy alta resolución con bandas ópticas (roja, verde y azul) e infrarrojas, que se adquieren durante las temporadas de crecimiento (Raei, *et al*, 2022).

Las imágenes digitales que se toman de las plantas son procesadas y examinadas utilizando técnicas de reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes digitales. Las técnicas de análisis de imágenes propuestas harán la labor de segmentar estas imágenes para identificar las condiciones del suelo y de las plantas. Esto puede ayudar a controlar el riego y mejorar la eficiencia del recurso hídrico en el sector agrícola, con la ayuda de IoT. La detección automática de los cambios climáticos es beneficiosa para mejorar la eficiencia de riego (Suganya *et al*, 2019). Las consideraciones de la plataforma de teledetección para las imágenes espectrales se basan en el aire, en satélites y en vehículos aéreos no tripulados (UAV). Cada plataforma tiene su propio rango de cobertura, que está determinado por tres factores: Distancia de muestreo terrestre (GSD), que se calcula en términos de resolución espacial, tasa o frecuencia de recopilación de datos y distancia promedio entre el objeto y sensor (Shafi *et al*, 2019).

Asimismo, se establecieron los indicadores vinculados al sistema de riego por goteo, teniendo como primer indicador al Porcentaje de Humedad. Que ha sido descrita como la cantidad de agua que se encuentra contenida en un lugar. En el caso de la humedad del suelo existen diferentes tipos de humedad y están determinadas por las fuerzas que están presentes en las moléculas de agua que a su vez se determinan por la estructura y la composición del suelo. El contenido de humedad del suelo es vital para determinar sus propiedades tales como: consistencia, compatibilidad, expansión, contracción, agrietamiento y densidad (Caicedo et al, 2021).

Otro indicador es la temperatura del ambiente, que es necesario que se mantenga una temperatura ambiente con valores adecuados para garantizar la eficiencia del recurso hídrico. Este aspecto está vinculado estrechamente con el óptimo resultado de consumo de agua en el riego. Las variaciones de temperatura causan alteraciones en las sales que nutren las plantas, en la generación de oxígeno y por ende el adecuado desarrollo de las mismas. El control de la temperatura es elemental para mejorar la eficiencia de riego. Un valor exacto debe mantenerse dentro de un rango aceptable para el cultivo, generalmente entre 20°C y 27°C dependiendo de la especie vegetal (Gesto, *et al* 2020). En la mejora de eficiencia del recurso hídrico en el riego es vital el tema de los rangos de temperatura, humedad y PH, ya que comprende el aseguramiento del bienestar de la planta. Debe hacerse una medición precisa, lo que se logra con el uso de los sensores que sirven para recolectar los datos y permiten la obtención de los rangos que se requieren. Para medir la temperatura se utiliza un sensor DHT22 que permite alcanzar los valores adecuados (Baron *et al*, 2020).

Otro indicador es la escala de grises, en el sistema propuesto, mediante el uso de múltiples fotos algorítmicas procesadas, el sistema reconocerá cosas adecuadas en función de su color, apariencia, tamaño y la cantidad de daño. El sistema proporcionará un buen tipo de foto que puede brindar facilidad para empacar a los agricultores si así lo desean. Con la ayuda de la preparación y el análisis de imágenes, el sistema encontrará los elementos en función de su color, superficie, tamaño y deformidades. El procedimiento proporcionará un mayor

calibre de la imagen con una razón para ayudar comparativamente a agrupar los elementos en empresas (Khekare, 2021).

La ecualización es el proceso de distribución uniforme de los niveles de gris a lo largo de su rango en la imagen, el ayuda a reasignar el valor de brillo de píxeles. Se utiliza para lograr resultados más visuales de imágenes que se encuentran en una amplia gama. Inicialmente toma dos imágenes de entrada y luego calcula la imagen en escala de grises con media y logarítmica valores utilizando métodos de mejora y segmentación de imágenes y finalmente detecta cambios entre dos imágenes usando imágenes de salida de imagen de saturación de tono (HSV), lo que ayuda a monitorear los cambios entre dos imágenes. Durante los métodos de segmentación, utiliza métodos de agrupamiento difuso que ayudan a agrupar características similares entre dos imágenes durante el proceso de fusión (Cuesta *et al*, 2023).

Asimismo, el indicador histograma de imágenes. Del mismo se refiere que las condiciones del suelo en sus diferentes estados desde húmedo o seco esto se ve afectado por los drásticos cambios climáticos. La mayoría de las veces, el agricultor puede desconocer el estado de sus cultivos en el último momento. Al implementar mejoras tecnológicas en la industria agrícola, se intenta mejorar la eficiencia de riego y eso resulta en optimizar los recursos hídricos y un aumento de los ingresos de los agricultores. Índices basados en la técnica de segmentación del histograma de intensidad utilizada para segmentar los valores de las condiciones del suelo en cada cambio climático con una mejor precisión. La segmentación es una etapa importante en la técnica de procesamiento de imágenes y ayuda a diagnosticar los parámetros de humedad (Kalaivani *et al*, 2020).

Por otra parte, se explora las bases teóricas de la variable eficiencia del recurso hídrico. La eficiencia del recurso hídrico se refiere al valor de agua consumido en litros por hectárea que se deriva de un proceso de riego aplicando una técnica específica donde se aprovecha el uso del agua al máximo y se obtiene mayor ahorro en el recurso hídrico. En otras palabras, la relación entre el agua disponible y la cantidad de agua aplicada en el riego, se denomina eficiencia de riego (Quijía, 2020). Para medir la eficiencia del recurso hídrico se toma en cuenta la cantidad de agua consumida en litros por hectárea. Aunque algunos estudios han

señalado el litro como indicador para el cálculo del valor de agua consumido, se puede optar este indicar en cantidades menores para medir la eficiencia de riego. Un factor importante en esta relación son los materiales que se utilizan tales como: fertilizantes, maquinarias, mano de obra, entre otros (Quijía, 2020).

De igual forma se propusieron las dimensiones de la variable eficiencia del recurso hídrico, partiendo por la primera dimensión valor de porcentaje consumido por hectárea. Que es el valor de agua aplicado en el riego de acuerdo a la necesidad de los diferentes cultivos, los cambios climáticos, edad de planta y etapa de desarrollo. El rendimiento de una hectárea de cultivo depende tanto del nivel de eficiencia de riego como de factores aleatorios relacionados con el clima. En una cadena de suministro agrícola, hay proveedores, productores y compradores (Zhichkin *et al*, 2020).

La segunda dimensión es la aplicación de técnicas en el uso de recursos. Indicando al respecto, que se han propuesto muchas aplicaciones que utilizan WSN (Wireless System Network), desde la última década para hacer seguimiento a la salud de los cultivos de forma remota. Los sistemas ciberfísicos se pueden expresar como sistemas inteligentes que se componen de software, hardware y componentes físicos, integrados entre sí para detectar los diferentes estados del mundo real. El sistema propuesto consta de tres capas: la primera capa es la capa física, en la que se recopilan todos los datos sensoriales; la segunda capa es la capa de red en la que se transmiten los datos a la nube; la tercera capa es la capa de decisión en la que se analizan y procesan los datos para tomar decisiones de acuerdo con las observaciones (Shafi *et al*, 2019). Se han introducido varios protocolos de comunicación en las últimas décadas debido al rápido aumento de los dispositivos IoT y las tecnologías WSN. Cada protocolo tiene sus propias especificaciones según el ancho de banda, la cantidad de canales libres, la velocidad de datos, la duración de la batería, el precio y otros factores (Shafi *et al*, 2019).

Se establecieron los indicadores de la eficiencia del recurso hídrico, destacando el porcentaje de agua consumida por hectárea. La cual ha sido señalada como una métrica que representa la cantidad de litros de agua consumida por hectárea de cultivo, generalmente expresada en metros cúbicos por hectárea. Esta medida

proporciona una indicación cuantitativa del consumo del agua en litros y es utilizada para evaluar la eficiencia del riego en un área determinada. Cuanto mayor sea el ahorro de agua, mayor será la eficiencia de riego por unidad de superficie y, por lo tanto, se considera un indicador positivo de eficiencia de riego en el sector agrícola (Barkunan, *et al*, 2019).

Otro indicador es la eficiencia del uso del recurso hídrico, tiene que ver con la relación entre el agua utilizada en el metabolismo de la planta y el agua perdida por la transpiración de la planta. Se puede mejorar a través de diferentes métodos, como la programación del riego y la gestión del agua en la explotación. La programación del riego es la determinación de cuándo y cuánta agua aplicar a un campo. Sirve para optimizar la eficacia del riego al aplicar la cantidad exacta de agua que se necesita para restaurar la humedad del suelo a un nivel óptimo. Permite a los agricultores programar la rotación del agua entre los distintos campos para minimizar el estrés de los cultivos por falta de agua y maximizar los rendimientos. Reduce el costo de agua y mano de obra del agricultor a través de menos riego, aprovechando así al máximo el almacenamiento de humedad del suelo (Zahoor, 2019).

Se ha demostrado que la adopción de tecnologías de uso eficiente del agua ha generado ahorros de agua a escala de campo, y algunos de los ahorros se liberan como flujos ambientales. Sin embargo, el ahorro neto de agua a escala de cuenca no siempre se puede lograr. De hecho, algunos estudios han demostrado que se produce un aumento neto del consumo de agua, en gran parte debido a la reutilización del agua ahorrada para ampliar la superficie de tierra bajo riego (Koech y Lagat, 2018).

Finalmente, el último indicador son las técnicas de irrigación. Existen distintas técnicas de riego de acuerdo a la necesidad de los cultivos. Se pueden mencionar, Riego por inundación, riego por surcos, riego por aspersion, riego por microaspersión, riego por nebulización, hidropónico, riego por goteo (Vílchez, 2020). El riego inteligente es una aplicación de riego artificial que controla la cantidad de agua tomando una decisión sobre dónde se necesita agua. Es el constituyente más importante en la agricultura, que tiene un gran impacto en la salud, el costo y la productividad de los cultivos (Shafi *et al*, 2019). La primera

técnica implementada fue el proceso de riego por goteo subterráneo, que minimiza la cantidad de agua perdida debido a la evaporación y la escorrentía, ya que se entierra directamente debajo del cultivo (Talaviya *et al*, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo

La investigación es aplicada ya que se logró llevar a cabo la propuesta de aplicar un sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes. Según Arias (2021) este tipo de investigación es un enfoque que tiene como objetivo resolver problemas prácticos o satisfacer necesidades específicas en un contexto real. Está enfocada en la aplicación de conocimientos y teorías existentes para abordar cuestiones concretas en diferentes campos o disciplinas.

Diseño

El diseño correspondió al experimental, ya que se buscó modificar la variable eficiencia hídrica a través del sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes. Acorde a la explicación de Hernández (2018) su objetivo principal es generar conocimiento aplicable y soluciones concretas en un contexto real, a través de la manipulación deliberada de variables y la observación rigurosa de los efectos resultantes.

3.2. Variables y operacionalización

Variable 1: Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes

Definición conceptual.

El riego por goteo es aplicado directamente en el suelo. El agua moja únicamente el área donde se ubica la planta, lo que significa un gran ahorro de este recurso. El mecanismo de bombeo es en base a unos goteros que trabajan con presión, esta puede variar de acuerdo a la fuente de agua (Peralta y Urbina, 2022).

Definición operacional

Se registrarán los momentos y áreas de distribución de los goteros para medir el riego por goteo en el suelo. La eficiencia del recurso hídrico se evaluará comparando el consumo de un sistema de riego convencional o por surco. Además, se evaluará el monitoreo del estado del suelo, se observará y registrará la distribución del agua para analizar su impacto en la uniformidad y eficiencia del recurso hídrico. Los datos recolectados permitirán obtener resultados concretos sobre el funcionamiento y beneficios del sistema de riego por goteo y el procesamiento de imágenes.

Variable 2: Eficiencia hídrica

La eficiencia hídrica se refiere al valor de agua consumido en litros por hectárea que se deriva de un proceso de riego aplicando una técnica específica donde se aprovecha el uso del agua al máximo y se obtiene mayor ahorro en el recurso hídrico. En otras palabras, la relación entre el agua disponible y la cantidad de agua aplicada en el riego, se denomina eficiencia de riego (Quijía, 2020).

Definición operacional

La eficiencia hídrica se basará en la medición cuantitativa de la relación. Entre la cantidad de agua disponible y la cantidad de agua aplicada en el riego, se recopilarán datos específicos sobre los recursos empleados, como tierra, agua, nutrientes y mano de obra, y se registrará la eficiencia del recurso hídrico obtenida en términos de porcentajes y litros. Mediante el cálculo de indicadores como el agua disponible y el valor de agua aplicada por hectárea, se podrá evaluar y comparar el valor de porcentaje de agua consumida con la técnica de riego actual (riego por surco), y la técnica de riego propuesta, (goteo) en el siguiente estudio. En el Anexo 1 se detalla la tabla de operacionalización de variables.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

En esta investigación la población son todas las áreas de cultivo de palta Hass en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe – Lambayeque, de acuerdo a lo

mencionado por De Canes, *et. al;* (1994) donde la población es aquel universo de quien se va a obtener información o datos. De tal forma, este tipo de información sean contundentes, claros y de mucha utilidad para obtener la muestra.

Muestra

La muestra es en el sector agrícola correspondiente a 3 hectáreas de cultivo de palta Hass en el Centro Poblado Santa Clara Ferreñafe - Lambayeque cuyo propietario es el señor Orlando Vásquez Tarrillo ya que está relacionado con las características de la presente investigación, así que, para Hernández, *et, al;* (2014) mencionan que solo es una parte de la población a tomar en cuenta para proceder a realizar los respectivos estudios y/o indagaciones, siendo esta un conjunto representativo y definido por sus peculiaridades propias, se elige teniendo en cuenta las instrucciones y consecuentes.

Muestreo

El muestreo se define como el proceso de selección de las unidades de investigación que contienen la muestra y el objetivo es recoger todas las características necesarias para realizar el estudio (Ñaupas, et al, 2018 pág. 336). Para obtener la muestra no se realizó ninguna técnica estadística, porque la investigación es una muestra no probabilística por conveniencia, por lo que, no depende de la probabilidad, si no de las causas relacionadas con las características de la investigación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

La técnica utilizada fue la observación de datos. Acorde a la explicación de Arias (2021) se refiere al proceso sistemático de recolección y registro de información a través de la observación directa de fenómenos, eventos o comportamientos relevantes en un entorno específico. En esta técnica, el investigador observa y registra de manera objetiva y sistemática los datos de interés, como conductas, interacciones, características físicas o cualquier otra información observable. Pueden ser utilizados diversos instrumentos de registro, como hojas de observación, listas de verificación o grabaciones de video.

Instrumento de recolección de datos

El instrumento empleado fue la guía de observación de datos, según Rekalde *et al* (2014) es un instrumento estructurado y sistemático que proporciona una estructura y pautas para llevar a cabo la observación de un fenómeno o evento específico en una investigación.

Validez

La validez se realizó con la técnica de revisión por juicio de expertos. Para Hernández (2018) es un método utilizado en investigación para evaluar la calidad y relevancia de los elementos de un estudio, como instrumentos de medición, protocolos experimentales, preguntas de encuestas, escalas de evaluación, entre otros. Consiste en solicitar la opinión y evaluación de personas con experiencia y conocimiento experto en el tema o campo de estudio en cuestión.

Confiabilidad

La confiabilidad se basó en la precisión y consistencia de los instrumentos, aparatos o máquinas utilizados para medir los indicadores en esta investigación. Representa la capacidad de estos dispositivos para proporcionar resultados consistentes y reproducibles en diferentes ocasiones o con diferentes evaluadores.

3.5. Procedimientos

La investigación se realizó en la parcela de cultivo de palta Hass ubicada en el centro poblado de Santa Clara Ferreñafe Lambayeque. Para ello, se solicitó el permiso correspondiente al propietario del terreno seleccionado para realizar el experimento. En esta etapa, se delimitó cuidadosamente un cuadrante específico dentro de cada terreno, que servirá como área de experimentación para cada una de las etapas del estudio.

El objetivo principal de esta investigación fue demostrar si la implementación de un sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes puede mejorar la eficiencia del recurso hídrico en el cultivo de palta Hass. Para lograrlo, se utilizó una cámara como herramienta para capturar y analizar imágenes del estado del

suelo, permitiendo así monitorear y optimizar el suministro de agua en base a las necesidades específicas del cultivo de palta Hass.

Durante el proceso experimental, se consultó con expertos en el sector agrícola especialmente en cultivo de palta Hass, se recopilaron datos relacionados con el rendimiento de los cultivos, la eficiencia del riego, el consumo de agua y otros indicadores relevantes. Se implementó la metodología para que posteriormente se comparen con los obtenidos mediante métodos de riego convencionales, con el objetivo de establecer conclusiones sólidas sobre los beneficios y el impacto del sistema de riego por goteo basado en el procesamiento de imágenes.

Es importante destacar que se llevaron a cabo todas las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de los protocolos éticos y el respeto por los propietarios de los terrenos utilizados en el estudio. Asimismo, se garantizó el cuidado y la integridad de las tierras de cultivo, minimizando cualquier impacto negativo durante la realización del experimento.

3.6. Método de análisis de datos

Después del recojo de los datos y el procesamiento de la información, se empleó el método de análisis descriptivo e inferencial. En el análisis descriptivo se presentaron las tablas en la fase pre y post de las variables y sus dimensiones. Para el análisis inferencial se empleó una prueba estadística que comparó las medias de los datos antes y después de la implementación del sistema. En este caso, la prueba de Student o el análisis de varianza (ANOVA) fueron apropiados, para el diseño experimental y la estructura de los datos.

Asimismo, para comparar la eficiencia del recurso hídrico en diferentes parcelas o grupos antes y después de la intervención, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Esta prueba permite comparar las medias de múltiples grupos de cultivos antes y después de la implementación del sistema.

3.7. Aspectos éticos

En el marco de esta tesis es fundamental abordar los aspectos éticos inherentes a la investigación. Para garantizar el cumplimiento de los principios éticos, se considerarán los siguientes aspectos: en primer lugar, se obtendrá el consentimiento informado de los propietarios de las tierras agrícolas de la comunidad, asegurando su autonomía y derecho a participar o no en el estudio. Asimismo, se velará por la no maleficencia al implementar medidas seguras que minimicen los posibles riesgos y daños tanto a los cultivos como al medio ambiente. Por otro lado, se buscará maximizar los beneficios a través del sistema de riego, mejorando la eficiencia del recurso hídrico y contribuyendo al bienestar de los agricultores y la comunidad en general. Finalmente, se promoverá la justicia mediante la equidad en el acceso y distribución de los recursos y beneficios, evitando cualquier forma de discriminación y garantizando la igualdad de oportunidades para todos los agricultores involucrados.

IV. RESULTADOS

En el sector agrícola del centro poblado Santa Clara – Ferreñafe Lambayeque existe diferentes puntos de yacimientos de agua, uno de ellos se encuentra en la finca Vásquez Tarrillo donde se realizó el estudio, según informa el propietario que, el yacimiento del recurso hídrico se almacena en un pozo de 1.5 metros de diámetro y 20 metros de profundidad, además detalla que el agua se logra obtener en una profundidad no menor a los 10 metros, la fuente del recurso hídrico tiene un abastecimiento de todo el año con una variedad de caudal, de enero hasta agosto el abastecimiento de agua es suficiente para poder abastecer de riego a las 3 hectáreas de cultivo de palta Hass, mientras que en los meses de septiembre hasta diciembre existe un gran déficit en el abastecimiento de agua causando estrés hídrico en los cultivos en toda la zona agrícola.

La técnica de irrigación aplicada actualmente en la finca Vásquez tarrillo es por surco, según estudios realizados, datos recopilados y los cálculos de eficiencia para un sistema de riego por surco indican que, solo alcanza una eficiencia del recurso hídrico del 50 %, es decir que, por cada 100 litros que se suministran solo

se aprovechan 50 litros de agua aproximadamente según manual MINAGRI (Ministerio de agricultura y riego), en la cual afecta significativamente la eficiencia del recurso hídrico en el sector agrícola, como se muestra en la Tabla 1 eficiencia de riego tradicional o por surco, adicional a ello demanda de trabajos muy laboriosos para el monitoreo de y control del sistema de riego.

Según la programación de riego el requerimiento de agua para el cultivo de palta Hass es de 2448 l/h/ha ver en la Tabla 10 programación de riego, considerando la información de eficiencia de riego por surco que es el 50 % aproximadamente, se considera una demanda de recurso hídrico de 4898 l/h/ha.

Para realizar el cálculo de la eficiencia de riego por surco o tradicional nos basamos en la información de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Como se muestra en la Tabla 1 eficiencia de riego por surco.

Tabla 1: Eficiencia de riego según FAO

EFICIENCIA DE RIEGO TRADICIONAL O SURCO POR PARCELA SEGÚN FAO		
Eficiencias de distribución a nivel parcela		
Parcela de 20 ha a más		
Canales no aliniados	0.8	
Canales aliniados	0.9	0.95
Parcela de 1 a 20 ha		
Canales no aliniados	0.6	0.75
Canales aliniados	0.7	0.9
Eficiencia de aplicación para diferentes métodos de riego		
Pozas y Melgas	0.6	0.8
Surcos	0.55	0.7
Corrugaciones	0.5	0.7

Fuente: Manual FAO.

Para realizar el cálculo de la eficiencia de riego tradicional o por surco utilizamos la Ecuación 1 eficiencia de riego convencional.

(1)

Ef. De distribución * Ef. De aplicación

Donde:

Ef. De distribución: Es la uniformidad de distribución

Ef. De aplicación: Es la técnica de riego aplicada

$$\text{Eficiencia de riego} = (0.7 + 0.9) / 2 * (0.55 + 0.7) / 2$$

$$\text{Eficiencia de riego} = 0.5$$

Con el resultado de 0.5 multiplicado por 100 tenemos una eficiencia de riego que es igual al 50 %, con este valor calculado se valida la información obtenida en las fuentes de recopilación de datos.

Para realizar el gráfico de eficiencia del recurso hídrico de riego por surco hemos considerado los valores calculados en requerimiento del cultivo en la etapa final ver en la Tabla 11 programación de riego, como podemos apreciar en el Gráfico 1 eficiencia del recurso hídrico con riego por surco tiene un gran déficit, en la cual perjudica en el ahorro de agua para los meses de escases en el sector agrícola, además con este método de riego aumenta la mano de obra y demanda de mayor inversión económica.

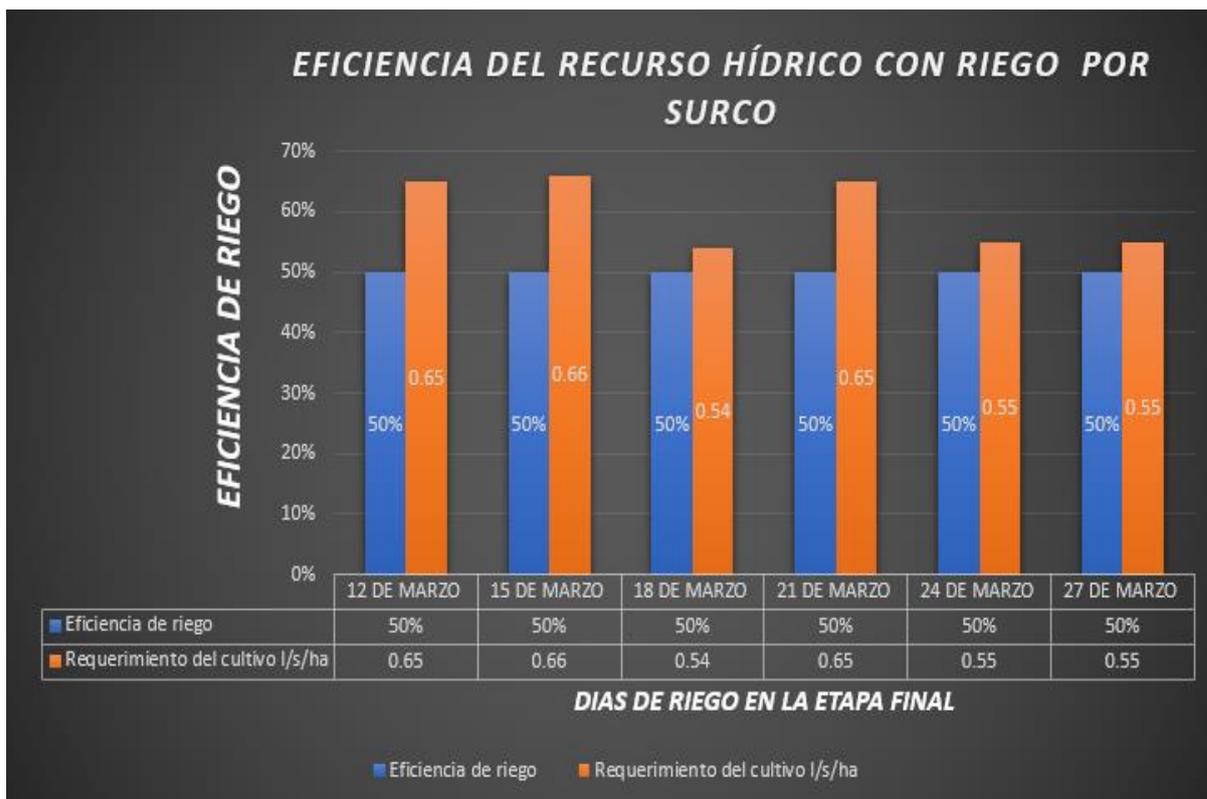


Gráfico 1: Eficiencia de recurso hídrico con riego por surco

Fuente: Microsoft Excel

Implementar un sistema de riego por goteo basado en procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia del recurso hídrico en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023.

Con el método de riego por goteo basado en procesamiento de imágenes se pretende aumentar la eficiencia de riego del 90 a 95 %, minimizar los trabajos de monitoreo de riego y la condición del suelo entre completamente húmedo o completamente seco y manejar el control del sistema de riego de manera automática.

Para realizar los cálculos correspondientes al sistema de riego por goteo se considera de vital importancia las ecuaciones. Como son Ecuación 2 caudal, Ecuación 3 volumen, Ecuación 4 caudal en función de área y velocidad, Ecuación 5 velocidad, Ecuación 6 caudal con factor de corrección,

$$Q = V/t$$

(2)

Donde. Q= caudal (m³/s)

V= volumen (m³)

t= tiempo (s)

Volumen es equivalente al área por distancia.

$$V = A * D$$

(3)

Donde. V= volumen (m³)

A= área (m²)

D= distancia (m)

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = A * D/t$$

(4)

Donde:

Q= caudal (m³/s)

A= área (m²)

D= distancia (m)

t= tiempo (s)

velocidad es igual a distancia sobre tiempo, es decir:

$$v = D/t$$

(5)

Donde:

v= velocidad (m/s)

D= distancia (m)

t= tiempo (s)

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$Q= A * v * Fc$$

(6)

Donde:

Q= caudal (m³)

A= área (m²)

v= velocidad (m/s)

Fc= factor de corrección

En el siguiente apartado se procederá a desarrollar los cálculos de los parámetros requeridos en el sistema de riego por goteo, basado en investigaciones y estudios realizados en las diferentes fuentes de datos.

Para poder encontrar los resultados más óptimos en el sistema de riego para el cultivo de palta Hass se empleó los siguientes softwares libre Climwat 2.0, Cropwat 8.0 y Soil water characteristics, con esta tecnología se ha podido recopilar datos reales de los cambios climáticos en los 12 meses, además se ha realizado una simulación por hectárea de un proceso inicial, desarrollo, medio y final de los cultivos de palta Hass.

Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o).

Para hallar el cálculo de la evapotranspiración potencial, se realizó la consulta de datos de los cambios climáticos al software Climwat 2.0, teniendo en cuenta que las fuentes no cuentan con la información de las variables climáticas en

el punto exacto del lugar de estudio que es la provincia de Ferreñafe, se consideró los datos climáticos de la provincia vecina de Chiclayo.

Se hizo la consulta de las variables climáticas de la provincia de Ferreñafe en la fuente de SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), en la cual solo se encontró una estación cercana en el distrito de Picsi como se puede apreciar en la Imagen 1 datos meteorológicos, la data encontrada en esta estación no cumple con los datos requeridos para el diseño agronómico en el Software Cropwat 8.0, es por eso que se procedió a consultar los datos de las variables climáticas en el software libre Climwat 2.0 ya que, es una fuente que contiene información con todos los ajustes requeridos para el diseño agronómico en el software Cropwat 8.0, el software Climwat es muy utilizado a nivel internacional en el diseño agronómico, además los softwares libre Climwat 2.0 y Cropwat 8.0 son acreditados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

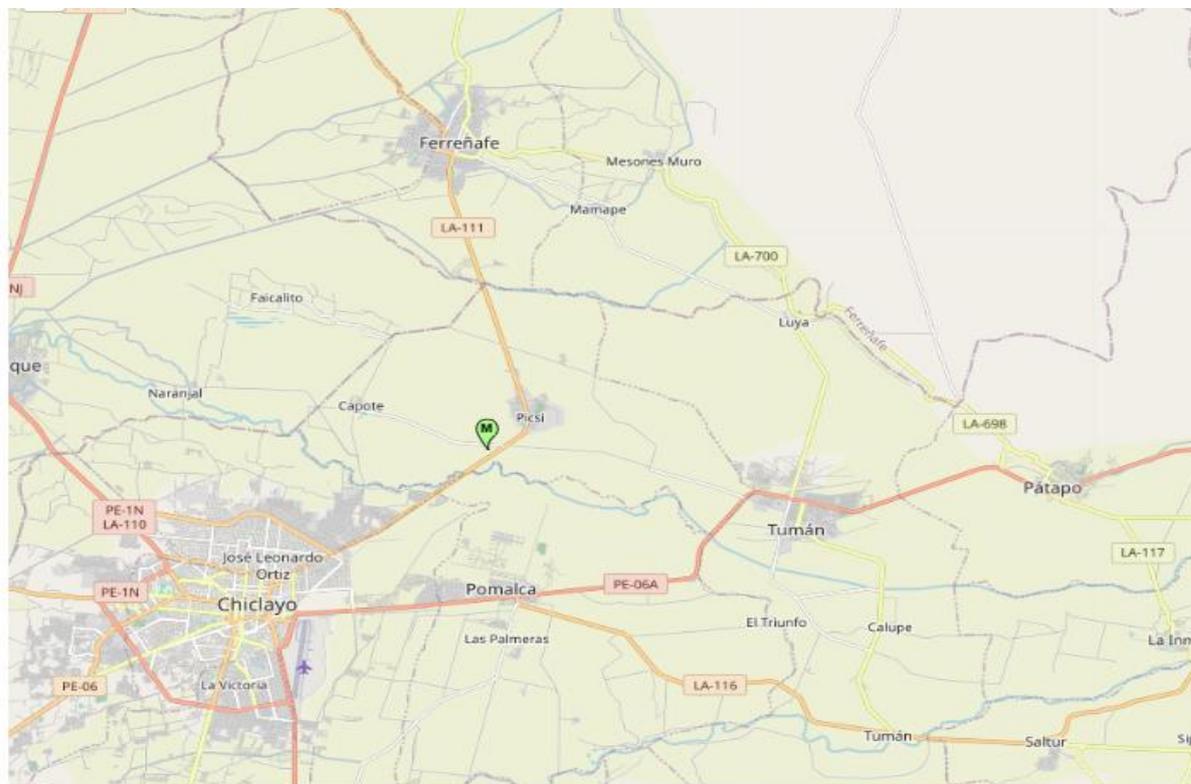
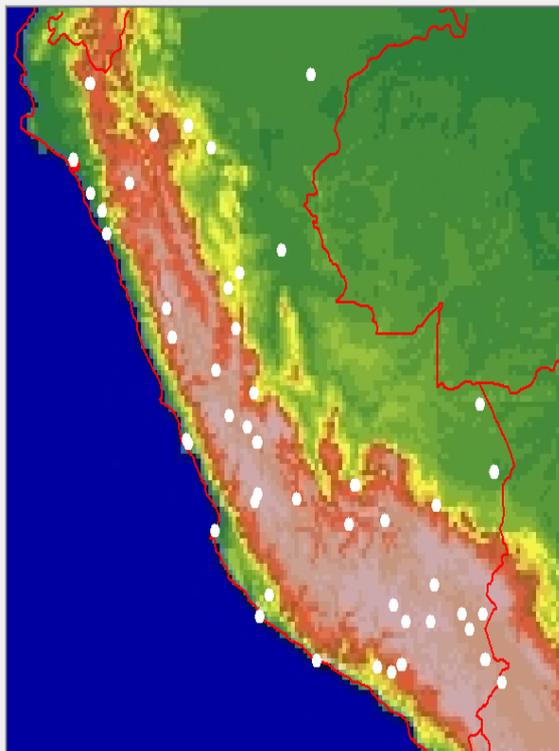


Imagen 1: Datos hidrometeorológicos

Fuente: SENAMHI



16	-73.26	-3.81	150	QUISTOCOCHA	PERU
17	-73.25	-3.75	126	IQUITOS	PERU
18	-73.23	-3.73	122	ZUNGAROCCHA	PERU
19	-74.21	-13.15	2761	HUAMANGA	PERU
20	-75.2	-13.05	4520	AOCNOCOCHA	PERU
21	-75.23	-3.73	100	GUAYABAMBA	PERU
22	-75.26	-13.2	4356	PACOCOCHA	PERU
23	-76.28	-13.75	9	PISCO	PERU
24	-70.71	-14.78	3910	CHUQUIBAMBILLA	PERU
25	-74.91	-14.98	620	COPARA	PERU
26	-70.81	-15.48	4260	CUENCA-RIO-VERDE	PERU
27	-70.01	-15.33	3852	FUNO-GRANJA-SALCEDO	PERU
28	-71.76	-15.19	4320	CAYLLOHA	PERU
29	-71.45	-15.48	3847	SIBAYO	PERU
30	-73.85	-5.05	201	REQENA	PERU
31	-75.16	-15.38	60	SAN-JUAN	PERU
32	-69.83	-15.63	3868	CAPACHICA	PERU
33	-79.45	-5.23	1552	HUANCABAMBA	PERU
34	-69.5	-15.35	3890	HUARAYA-MOHO	PERU
35	-71.55	-16.31	2539	AREQUIPA	PERU
36	-71.8	-16.45	1552	VITOR	PERU
37	-72.16	-16.35	1433	PAMPA-DE-MAJES	PERU
38	-73.7	-16.23	25	PUNTA-AITCO	PERU
39	-76.96	-6.03	833	MOYOBAMBA	PERU
40	-76.38	-6.45	282	TARAPOTO	PERU
41	-77.83	-6.21	2540	CHACHAPOYAS	PERU
42	-79.83	-6.78	30	CHICLAYO	PERU
43	-69	-16.65	3850	DESAGUADERO	PERU
44	-69.43	-16.2	3852	JULY	PERU
45	-75.88	-6.68	27	LAMBAYEQUE	PERU
46	-72.01	-17.03	13	MOLLENDO	PERU
47	-78.46	-7.13	2622	CAJAMARCA	PERU
48	-79.16	-7.66	157	CASA-GRANDE	PERU
49	-79.43	-7.31	130	LIMON-CARRO	PERU
50	-69.76	-17.53	4541	PAUCARANI	PERU
51	-70.3	-18.06	469	TACNA	PERU
52	-74.6	-8.41	149	PUCALLPA	PERU
53	-75.66	-8.83	420	JURAC	PERU
54	-75.03	-8.1	30	TRUJILLO	PERU
55	-75.95	-9.13	669	TINGO-MARIA	PERU
56	-75.75	-9.9	1860	HUANUCO	PERU
57	-77.51	-9.5	3050	HUARAZ	PERU

Number of stations loaded: 57

Imagen 2: Ubicación de datos climáticos

Fuente: Software Climwat

Luego de haber filtrado los datos de la estación más cercana al lugar donde se está realizando el estudio, se procedió a realizar los cálculos del clima/ETo en la cual se obtuvo los siguientes resultados, los cálculos obtenidos de las variables climáticas desde el mes inicial del año hasta el mes final diciembre obteniendo como resultado un valor de 4.19 mm/día. Como podemos visualizar en la Tabla 2 cálculo de evapotranspiración.

Tabla 2: Cálculo de la evapotranspiración

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	18.9	29.5	72	346	6.2	19.3	4.95
Febrero	20.0	29.8	75	311	6.6	20.2	4.85
Marzo	20.2	30.8	73	311	6.3	19.4	5.02
Abril	18.9	29.0	74	346	6.7	18.8	4.66
Mayo	17.8	27.4	73	346	6.5	17.0	4.22
Junio	16.4	25.3	78	311	5.6	15.0	3.37
Julio	15.4	24.1	76	311	5.2	14.9	3.33
Agosto	14.6	23.5	76	346	5.4	16.3	3.54
Septiembre	15.1	21.5	76	346	6.3	18.8	3.60
Octubre	15.3	24.5	76	380	5.9	18.9	3.99
Noviembre	15.7	25.2	77	346	6.6	19.9	4.13
Diciembre	17.1	27.2	72	380	6.3	19.3	4.67
Promedio	17.1	26.5	75	340	6.1	18.1	4.19

Fuente: Software Cropwat.

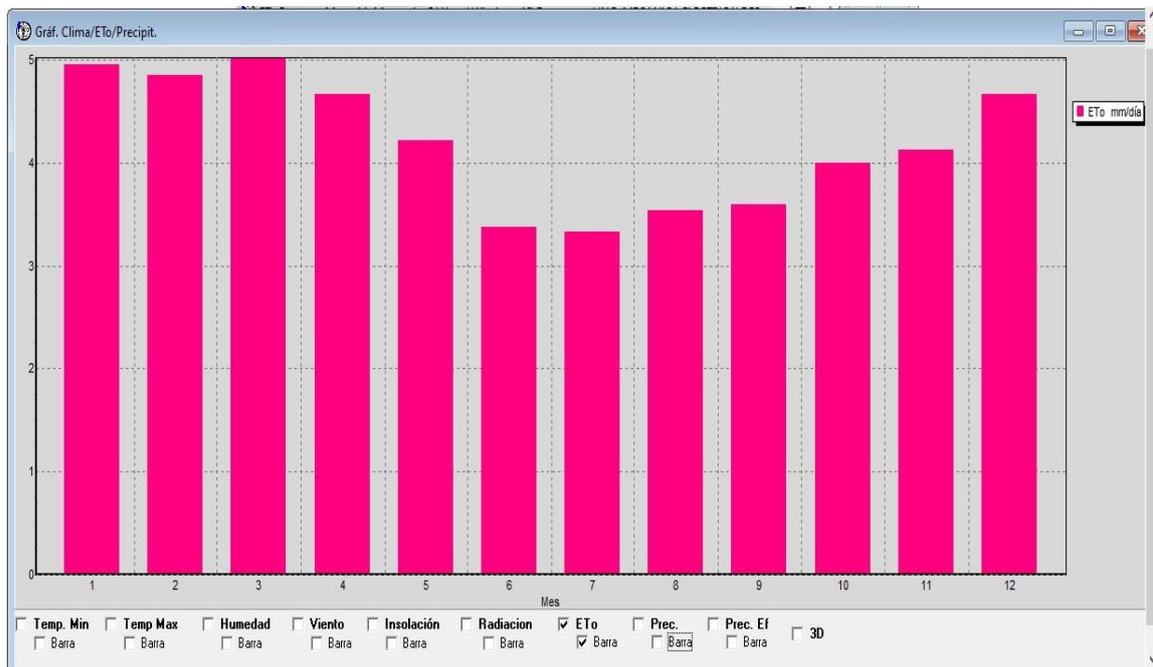


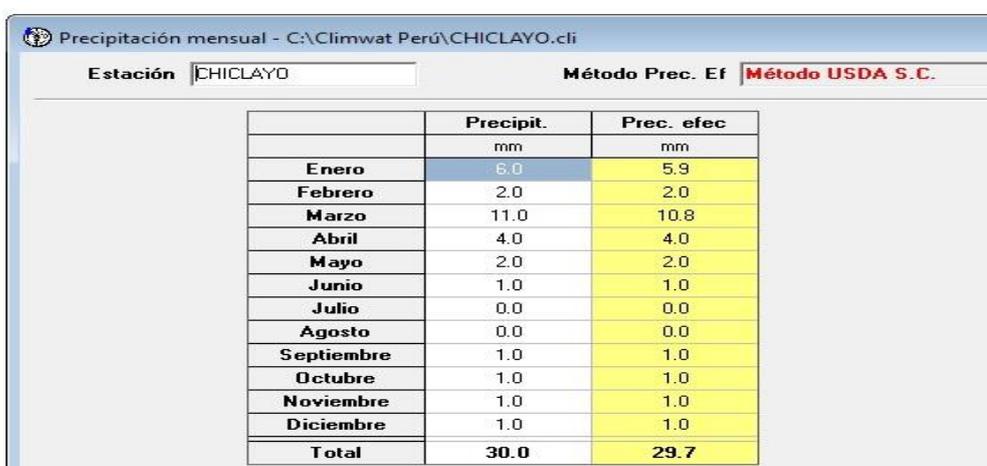
Gráfico 2: Gráfico de variables climáticas

Fuente: Software Cropwat

Cálculo de la precipitación efectiva.

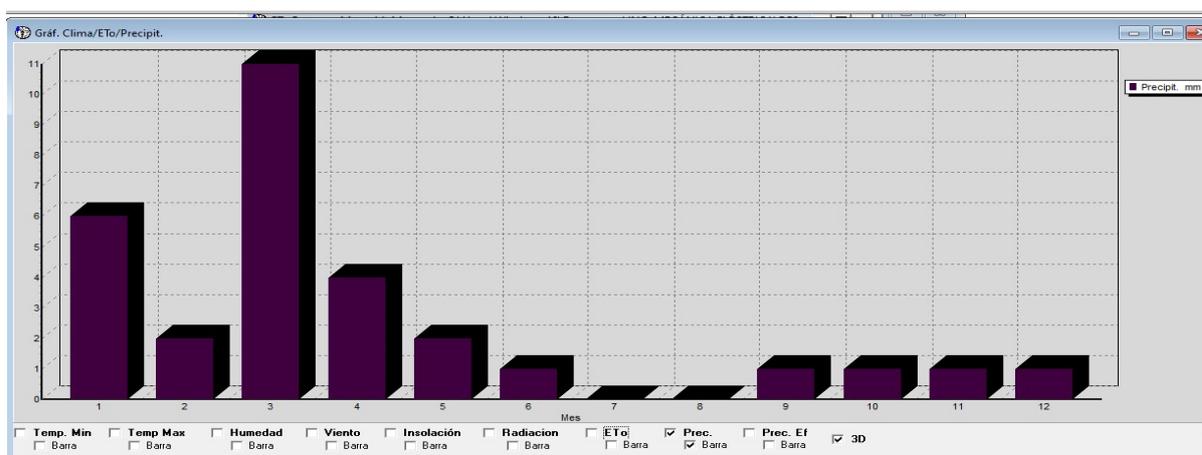
Con los datos obtenidos de las variables climáticas se procedió a calcular la precipitación efectiva en los 12 meses. La precipitación efectiva consta de los valores de lluvia que es tomado efectivamente por la planta, los demás valores se pierden, por la infiltración de la superficie, en la cual se ha calculado una precipitación efectiva de 29.7 mm. Los datos obtenidos para cada mes se muestran en la Tabla 3 precipitación efectiva.

Tabla 3: Precipitación efectiva



	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	6.0	5.9
Febrero	2.0	2.0
Marzo	11.0	10.8
Abril	4.0	4.0
Mayo	2.0	2.0
Junio	1.0	1.0
Julio	0.0	0.0
Agosto	0.0	0.0
Septiembre	1.0	1.0
Octubre	1.0	1.0
Noviembre	1.0	1.0
Diciembre	1.0	1.0
Total	30.0	29.7

Fuente: Software Cropwat.

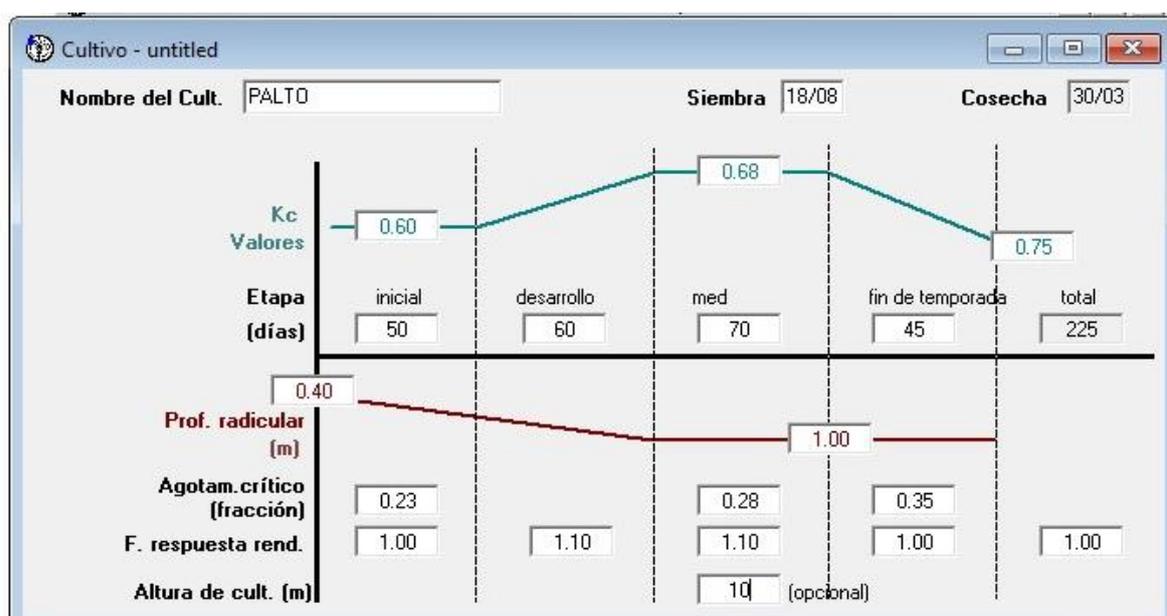


Fuente: Software Cropwat

Datos del cultivo y la fecha de siembra.

Para calcular los valores del recurso hídrico requerido por el cultivo y conocer los tiempos adecuados de riego según los cambios climáticos en los cultivos de palta Hass, se considera importante los siguientes datos, coeficiente del cultivo palta Hass (K_c), tiempo de duración de proceso del cultivo (etapa días), profundidad radicular (m), agotamiento crítico (fracción), función de respuesta rendimiento y altura del cultivo (m), teniendo los datos antes mencionados nos permite hacer la simulación del cultivo desde su fecha de siembra hasta la cosecha. En la Tabla 4 valores del cultivo de palta Hass se aprecia el detalle de los valores considerados para cada parámetro.

Tabla 4: Valores de cultivo palta Hass



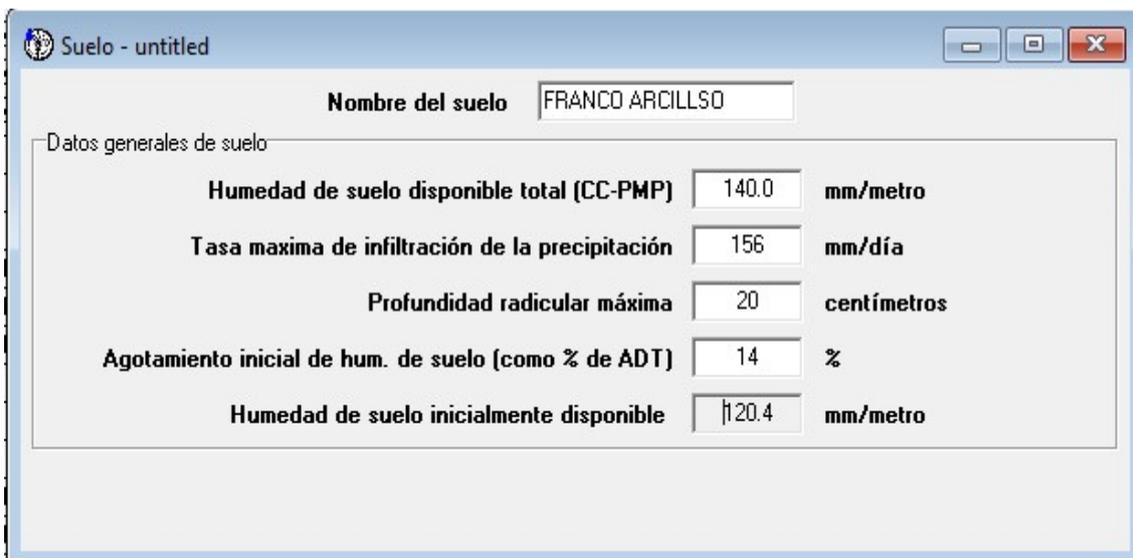
Fuente: Software Cropwat.

Datos de suelo.

Para realizar el cálculo necesario del caudal del recurso hídrico para los cultivos de palta Hass, es imprescindible contar con la información del tipo de suelo, humedad de suelo disponible total (CC-PMP), tasa máxima de infiltración de precipitación, profundidad radicular máxima, agotamiento inicial de humedad de

suelo (en % de ADT) y finalmente la humedad de suelo inicialmente disponible, los datos fueron consultados del software Soil Water Characteristics. Como se muestra en la Tabla 5 datos de suelo.

Tabla 5: Datos de suelo



The screenshot shows a software window titled 'Suelo - untitled'. At the top, there is a text field for 'Nombre del suelo' containing 'FRANCO ARCILLOSO'. Below this, a section titled 'Datos generales de suelo' contains a table of soil parameters. Each parameter has a corresponding input field with a numerical value and a unit label.

Nombre del suelo	Valor	Unidad
Nombre del suelo	FRANCO ARCILLOSO	
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	140.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	156	mm/día
Profundidad radicular máxima	20	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	14	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	120.4	mm/metro

Fuente: Software Cropwat.

Cálculo del requerimiento de agua de cultivo.

El software Cropwat permite realizar el cálculo exacto de todos los parámetros necesarios para un sistema de riego, de acuerdo al tipo de cultivo se puede calcular el requerimiento exacto de agua según su etapa sea inicial, desarrollo, media y final. Cabe resaltar que el cálculo realizado en todos sus parámetros es para una hectárea.

Cálculo de requerimiento de agua etapa inicial.

El cálculo de los valores de requerimiento de agua en la etapa inicial en el mes de agosto hasta septiembre con un requerimiento de agua de 6.4 mm/dec en agosto y, un valor de 22.4 mm/dec en el mes de septiembre. Los valores se muestran en la Tabla 6 requerimiento de agua etapa inicial.

Tabla 6: Requerimiento de agua etapa inicial

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo CHICLAYO				Cultivo PALTO			
Est. de lluvia COPARA				Fecha de siembra 18/08			
Mes	Decada	Etap	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ago	2	Inic	0.60	2.12	6.4	0.0	6.4
Ago	3	Inic	0.60	2.14	23.5	0.0	23.5
Sep	1	Inic	0.60	2.15	21.5	0.0	21.5
Sep	2	Inic	0.60	2.16	21.6	0.0	21.6
Sep	3	Inic	0.60	2.24	22.4	0.0	22.4
Oct	1	Des	0.60	2.33	23.3	0.0	23.3
Oct	2	Des	0.62	2.49	24.9	0.0	24.9
Oct	3	Des	0.65	2.62	28.8	0.0	28.8
Nov	1	Des	0.68	2.75	27.5	0.0	27.5
Nov	2	Des	0.70	2.89	28.9	0.0	28.9
Nov	3	Des	0.72	3.12	31.2	0.0	31.2
Dic	1	Med	0.75	3.34	33.4	0.0	33.4
Dic	2	Med	0.75	3.49	34.9	0.0	34.9
Dic	3	Med	0.75	3.56	39.2	0.1	39.1
Ene	1	Med	0.75	3.63	36.3	0.2	36.1
Ene	2	Med	0.75	3.71	37.1	0.3	36.7
Ene	3	Med	0.75	3.68	40.5	0.3	40.2
Feb	1	Med	0.75	3.65	36.5	0.3	36.2
Feb	2	Fin	0.78	3.77	37.7	0.3	37.3
Feb	3	Fin	0.79	3.87	31.0	0.2	30.8
Mar	1	Fin	0.79	3.92	39.2	0.1	39.0
Mar	2	Fin	0.79	3.96	39.6	0.0	39.6
Mar	3	Fin	0.79	3.87	38.7	0.0	38.7

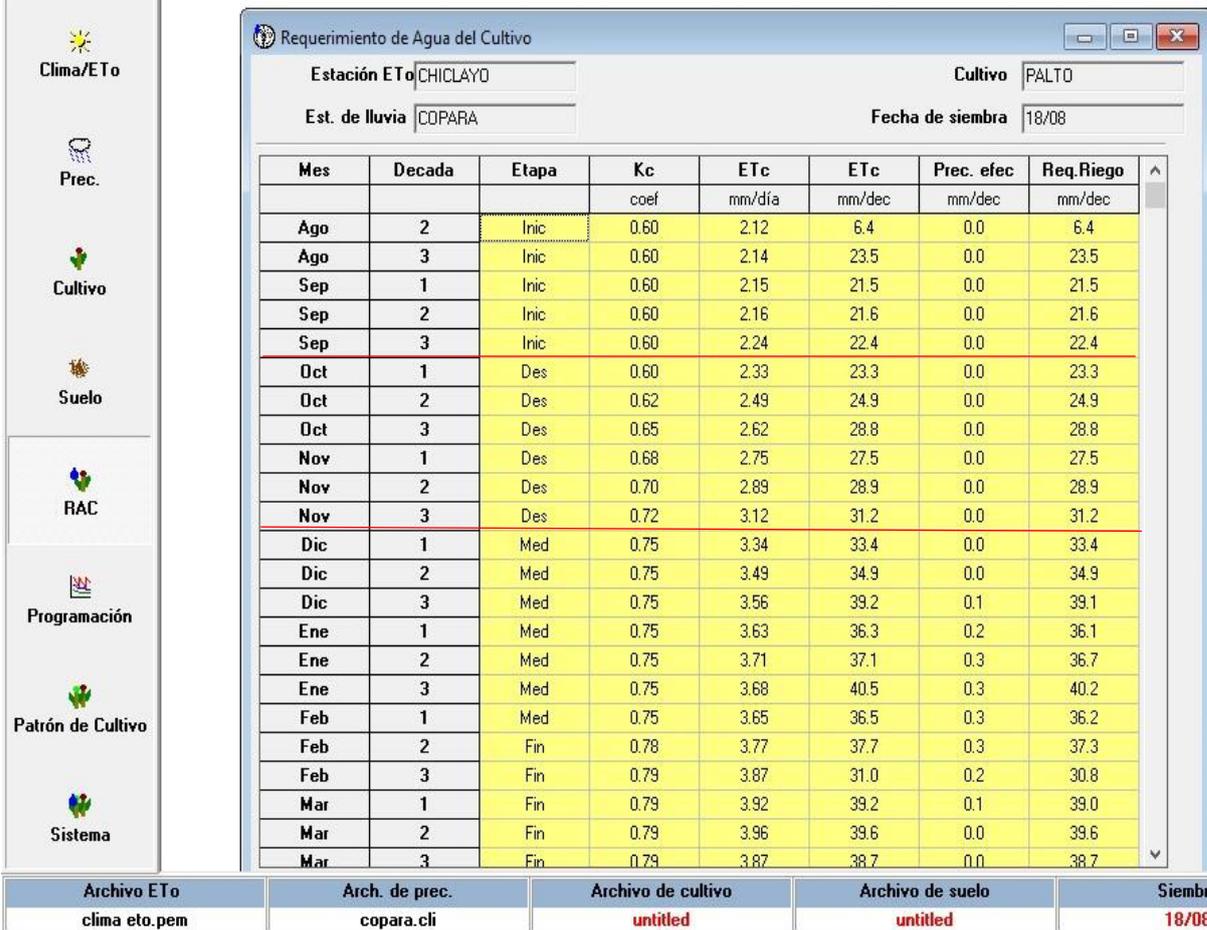
Archivo ETo clima eto.pem	Arch. de prec. copara.cli	Archivo de cultivo untitled	Archivo de suelo untitled	Siemb 18/08
------------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------	----------------

Fuente: Software Cropwat.

Cálculo de requerimiento de agua etapa de desarrollo.

Como se aprecia los valores de requerimiento de agua en la etapa de desarrollo desde el mes de octubre hasta el mes de noviembre con un valor 23.3 mm/dec en octubre y un valor de 31.2 mm/dec en el mes de noviembre. Los valores se muestran la Tabla 7 requerimiento de agua etapa de desarrollo.

Tabla 7: Requerimiento de agua etapa de desarrollo



Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	2	Inic	0.60	2.12	6.4	0.0	6.4
Ago	3	Inic	0.60	2.14	23.5	0.0	23.5
Sep	1	Inic	0.60	2.15	21.5	0.0	21.5
Sep	2	Inic	0.60	2.16	21.6	0.0	21.6
Sep	3	Inic	0.60	2.24	22.4	0.0	22.4
Oct	1	Des	0.60	2.33	23.3	0.0	23.3
Oct	2	Des	0.62	2.49	24.9	0.0	24.9
Oct	3	Des	0.65	2.62	28.8	0.0	28.8
Nov	1	Des	0.68	2.75	27.5	0.0	27.5
Nov	2	Des	0.70	2.89	28.9	0.0	28.9
Nov	3	Des	0.72	3.12	31.2	0.0	31.2
Dic	1	Med	0.75	3.34	33.4	0.0	33.4
Dic	2	Med	0.75	3.49	34.9	0.0	34.9
Dic	3	Med	0.75	3.56	39.2	0.1	39.1
Ene	1	Med	0.75	3.63	36.3	0.2	36.1
Ene	2	Med	0.75	3.71	37.1	0.3	36.7
Ene	3	Med	0.75	3.68	40.5	0.3	40.2
Feb	1	Med	0.75	3.65	36.5	0.3	36.2
Feb	2	Fin	0.78	3.77	37.7	0.3	37.3
Feb	3	Fin	0.79	3.87	31.0	0.2	30.8
Mar	1	Fin	0.79	3.92	39.2	0.1	39.0
Mar	2	Fin	0.79	3.96	39.6	0.0	39.6
Mar	3	Fin	0.79	3.87	38.7	0.0	38.7

Fuente: Software Cropwat.

Cálculo de requerimiento de agua etapa media.

Como se aprecia los valores de requerimiento de agua en la etapa media desde el mes de diciembre, enero y la primera semana de febrero, con un valor 33.4 mm/dec en diciembre y un valor de 36.2 mm/dec en el mes de febrero. Los valores se muestran la Tabla 8 requerimiento de agua etapa media.

Tabla 8: Requerimiento de agua etapa media

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	2	Inic	0.60	2.12	6.4	0.0	6.4
Ago	3	Inic	0.60	2.14	23.5	0.0	23.5
Sep	1	Inic	0.60	2.15	21.5	0.0	21.5
Sep	2	Inic	0.60	2.16	21.6	0.0	21.6
Sep	3	Inic	0.60	2.24	22.4	0.0	22.4
Oct	1	Des	0.60	2.33	23.3	0.0	23.3
Oct	2	Des	0.62	2.49	24.9	0.0	24.9
Oct	3	Des	0.65	2.62	28.8	0.0	28.8
Nov	1	Des	0.68	2.75	27.5	0.0	27.5
Nov	2	Des	0.70	2.89	28.9	0.0	28.9
Nov	3	Des	0.72	3.12	31.2	0.0	31.2
Dic	1	Med	0.75	3.34	33.4	0.0	33.4
Dic	2	Med	0.75	3.49	34.9	0.0	34.9
Dic	3	Med	0.75	3.56	39.2	0.1	39.1
Ene	1	Med	0.75	3.63	36.3	0.2	36.1
Ene	2	Med	0.75	3.71	37.1	0.3	36.7
Ene	3	Med	0.75	3.68	40.5	0.3	40.2
Feb	1	Med	0.75	3.65	36.5	0.3	36.2
Feb	2	Fin	0.78	3.77	37.7	0.3	37.3
Feb	3	Fin	0.79	3.87	31.0	0.2	30.8
Mar	1	Fin	0.79	3.92	39.2	0.1	39.0
Mar	2	Fin	0.79	3.96	39.6	0.0	39.6
Mar	3	Fin	0.79	3.87	38.7	0.0	38.7

Fuente: Software Cropwat.

Cálculo de requerimiento de agua etapa final.

Como se aprecia los valores de requerimiento de agua en la etapa media desde la segunda semana de febrero hasta el mes de marzo, con un valor 37.3 mm/dec en la segunda semana de febrero y un valor de 38.7 mm/dec en el mes de marzo, se obtuvo un valor total de 701.9 mm/dec de requerimiento total de agua en el cultivo para todas la etapas, inicial, desarrollo, media y final del proceso. Los valores se muestran en la Tabla 9 requerimiento de agua etapa final.

Tabla 9:Requerimiento de agua etapa final

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo CHICLAYO				Cultivo PALTO			
Est. de lluvia COPARA				Fecha de siembra 18/08			
Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	1	Inic	0.60	2.15	21.5	0.0	21.5
Sep	2	Inic	0.60	2.16	21.6	0.0	21.6
Sep	3	Inic	0.60	2.24	22.4	0.0	22.4
Oct	1	Des	0.60	2.33	23.3	0.0	23.3
Oct	2	Des	0.62	2.49	24.9	0.0	24.9
Oct	3	Des	0.65	2.62	28.8	0.0	28.8
Nov	1	Des	0.68	2.75	27.5	0.0	27.5
Nov	2	Des	0.70	2.89	28.9	0.0	28.9
Nov	3	Des	0.72	3.12	31.2	0.0	31.2
Dic	1	Med	0.75	3.34	33.4	0.0	33.4
Dic	2	Med	0.75	3.49	34.9	0.0	34.9
Dic	3	Med	0.75	3.56	39.2	0.1	39.1
Ene	1	Med	0.75	3.63	36.3	0.2	36.1
Ene	2	Med	0.75	3.71	37.1	0.3	36.7
Ene	3	Med	0.75	3.68	40.5	0.3	40.2
Feb	1	Med	0.75	3.65	36.5	0.3	36.2
Feb	2	Fin	0.78	3.77	37.7	0.3	37.3
Feb	3	Fin	0.79	3.87	31.0	0.2	30.8
Mar	1	Fin	0.79	3.92	39.2	0.1	39.0
Mar	2	Fin	0.79	3.96	39.6	0.0	39.6
Mar	3	Fin	0.79	3.87	38.7	0.0	38.7
					703.9	2.0	701.9

	A	B	C	D	Estación
Archivo de cultivo	Archivo de suelo		Siembra		Archivo pat. d
untitled	untitled		18/08		

Fuente: Software Cropwat.

Después de realizar los cálculos en todas las etapas inicial, media, desarrollo y final de requerimiento de agua del cultivo se visualiza que el tiempo de duración en todas sus etapas es de 8 meses. Como se puede apreciar en el Gráfico 4 de requerimiento de agua en el cultivo en todas sus etapas.

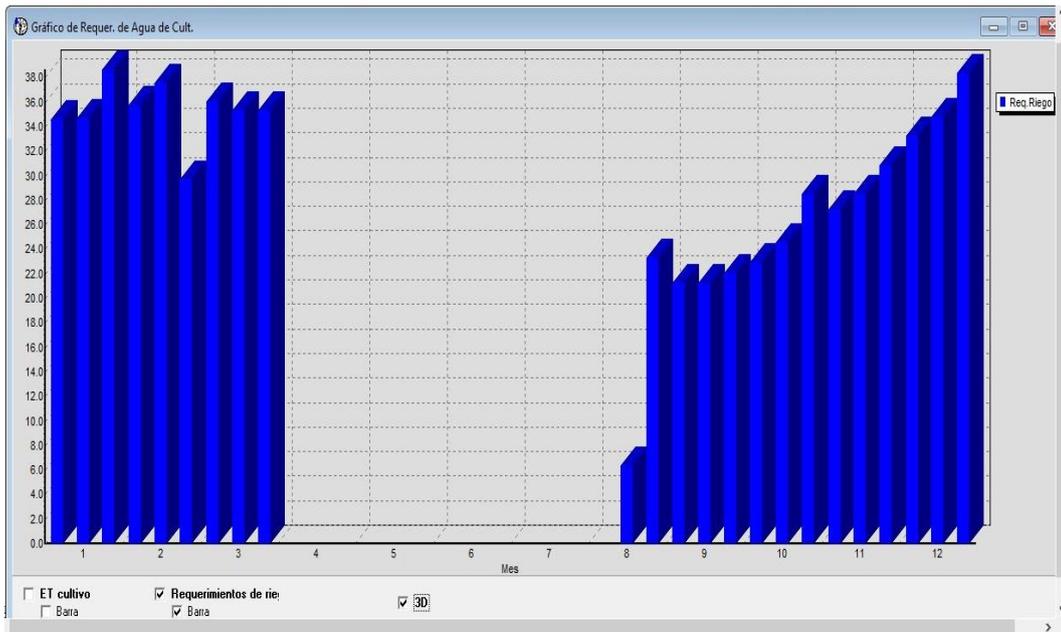


Gráfico 4: Requerimiento de agua en todas sus etapas

Fuente: Software Cropwat

Cálculo de programación de riego.

Para realizar la programación del riego se debe calcular todos los parámetros en el sistema como clima/ ETo , precipitación, cultivo, suelo, y requerimiento de cultivo (RAC), teniendo los valores de todos los parámetros podemos obtener los siguientes resultados. Un factor de agotamiento puede variar de acuerdo al día y al mes de riego en sus diferentes etapas y su valor se presenta en porcentaje, en este caso tenemos un valor de 29 % para la etapa inicial el 19 de agosto. Como podemos apreciar la Tabla 10 factor de agotamiento.

Tabla 10: Factor de agotamiento

Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
19 Ago	2	Ini	0.0	1.00	100	29	8.2	0.0	0.0	11.7	0.68
23 Ago	6	Ini	0.1	1.00	100	30	8.5	0.0	0.0	12.1	0.35
27 Ago	10	Ini	0.1	1.00	100	30	8.5	0.0	0.0	12.1	0.35
31 Ago	14	Ini	0.0	1.00	100	30	8.5	0.0	0.0	12.2	0.35
4 Sep	18	Ini	0.0	1.00	100	30	8.5	0.0	0.0	12.1	0.35
8 Sep	22	Ini	0.0	1.00	100	30	8.5	0.0	0.0	12.1	0.35
11 Sep	25	Ini	0.0	1.00	100	23	6.4	0.0	0.0	9.2	0.36

Totales					
Lámina bruta total	972.3	mm	Precipitación total	22.9	mm
Lámina neta total	680.6	mm	Precipitación Efectiva	15.7	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	7.2	mm
Uso real de agua del cultivo	700.1	mm	Def. de hum. en cosecha	7.7	mm
Uso pot. de agua del cultivo	700.1	mm	Requer. reales de riego	684.4	mm
Efic. de programación de riego	100.0	%	Efic. de precipitación	68.7	%
Deficiencia de programación de riego	0.0	%			

Archivo de cultivo	Archivo de suelo	Siembra	Archivo pat. d
untitled	untitled	18/08	

Fuente: Software Cropwat.

Lamina neta (LN), es el volumen de agua ligeramente aprovechable en el riego considerando los niveles de reposición (NR) o el valor de porcentaje de agotamiento del agua aprovechable en este parámetro se ha calculado una lámina neta total de 680.6 mm según la programación del riego. Como podemos visualizar en la Tabla 11 lámina neta total.

Tabla 11: Lámina neta total

5n Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

vo

ETo estación Cultivo Siembra Red. Rend.
 Est. de lluvia Suelo Cosecha

Formato de Tabla:
 Program. de riego
 Bal. diario de agua de suelo

Momento: [Regar a agotamiento crítico](#)
 Aplicación: [Reponer a capacidad de campo](#)
 Ef. campo 70 %

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
12 Mar	207	Fin	0.0	1.00	100	42	11.8	0.0	0.0	16.9	0.65
15 Mar	210	Fin	0.0	1.00	100	42	11.9	0.0	0.0	17.0	0.66
18 Mar	213	Fin	0.0	1.00	100	35	9.7	0.0	0.0	13.9	0.54
21 Mar	216	Fin	0.0	1.00	100	42	11.8	0.0	0.0	16.9	0.65
24 Mar	219	Fin	0.0	1.00	100	35	9.9	0.0	0.0	14.2	0.55
27 Mar	222	Fin	1.7	1.00	100	35	9.9	0.0	0.0	14.2	0.55
30 Mar	Fin	Fin	0.0	1.00	0	28					

Totales

<u>Lámina bruta total</u>	972.3 mm	Precipitación total	22.9 mm
<u>Lámina neta total</u>	680.6 mm	Precipitación Efectiva	15.7 mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	7.2 mm
Uso real de agua del cultivo	700.1 mm	Def. de hum. en cosecha	7.7 mm
Uso pot. de agua del cultivo	700.1 mm	Requer. reales de riego	684.4 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	68.7 %
Deficiencia de programación de riego	0.0 %		

Reducción de rendimiento

Fuente: Software Cropwat.

Lamina bruta total en el riego (LB), es el volumen total de agua que se debe aplicar para compensar las pérdidas por escorrentía, evaporación, arrastre por el viento y percolación, en este parámetro se ha calculado un valor total de 972.3 mm. Los valores se muestran en la Tabla 12 Lámina bruta total.

Tabla 12: Lámina bruta total

5n Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

vo      

ETo estación Cultivo Siembra Red. Rend.
 Est. de lluvia Suelo Cosecha

Formato de Tabla:
 Program. de riego
 Bal. diario de agua de suelo

Momento: [Regar a agotamiento crítico](#)
 Aplicación: [Reponer a capacidad de campo](#)
 Ef. campo 70 %

Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
12 Mar	207	Fin	0.0	1.00	100	42	11.8	0.0	0.0	16.9	0.65
15 Mar	210	Fin	0.0	1.00	100	42	11.9	0.0	0.0	17.0	0.66
18 Mar	213	Fin	0.0	1.00	100	35	9.7	0.0	0.0	13.9	0.54
21 Mar	216	Fin	0.0	1.00	100	42	11.8	0.0	0.0	16.9	0.65
24 Mar	219	Fin	0.0	1.00	100	35	9.9	0.0	0.0	14.2	0.55
27 Mar	222	Fin	1.7	1.00	100	35	9.9	0.0	0.0	14.2	0.55
30 Mar	Fin	Fin	0.0	1.00	0	28					

Totales

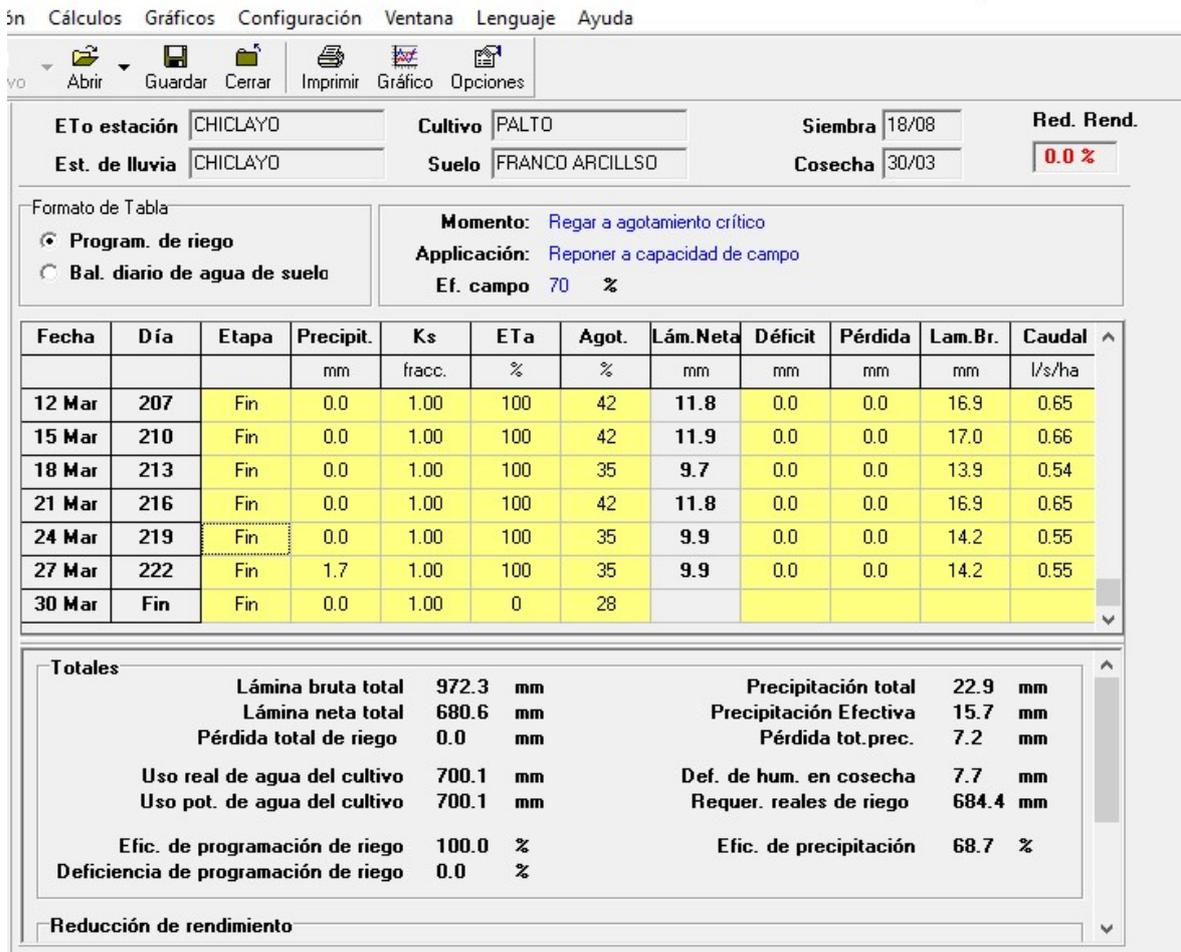
Lámina bruta total	972.3 mm	Precipitación total	22.9 mm
Lámina neta total	680.6 mm	Precipitación Efectiva	15.7 mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	7.2 mm
Uso real de agua del cultivo	700.1 mm	Def. de hum. en cosecha	7.7 mm
Uso pot. de agua del cultivo	700.1 mm	Requer. reales de riego	684.4 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	68.7 %
Deficiencia de programación de riego	0.0 %		

Reducción de rendimiento

Fuente: Software Cropwat.

Caudal requerido por día y mes en sus diferentes etapas es la cantidad de agua aplicada en l/s/ha (litros/segundo/hectárea) en este parámetro se ha podido calcular un valor de 0.65, 0.66, 0.54, 0.65, 0.55, 0.55 l/s/ha, en su etapa final del cultivo. cómo se puede apreciar en la Tabla 13 programación de riego.

Tabla 13: Programación de riego



Fuente: Software Cropwat.

Se ha realizado un Gráfico de programación de riego con el factor de agotamiento, el agua fácilmente aprovechada, el agua disponible total, en la cual las líneas rojas nos indica que se está reponiendo a la planta antes que baje el agua fácilmente aprovechable, es decir que la humedad se está volviendo a reponer para que no haga ningún esfuerzo la planta y no pueda entrar en estrés hídrico. Como se puede visualizar en el Gráfico 5 programación del riego.

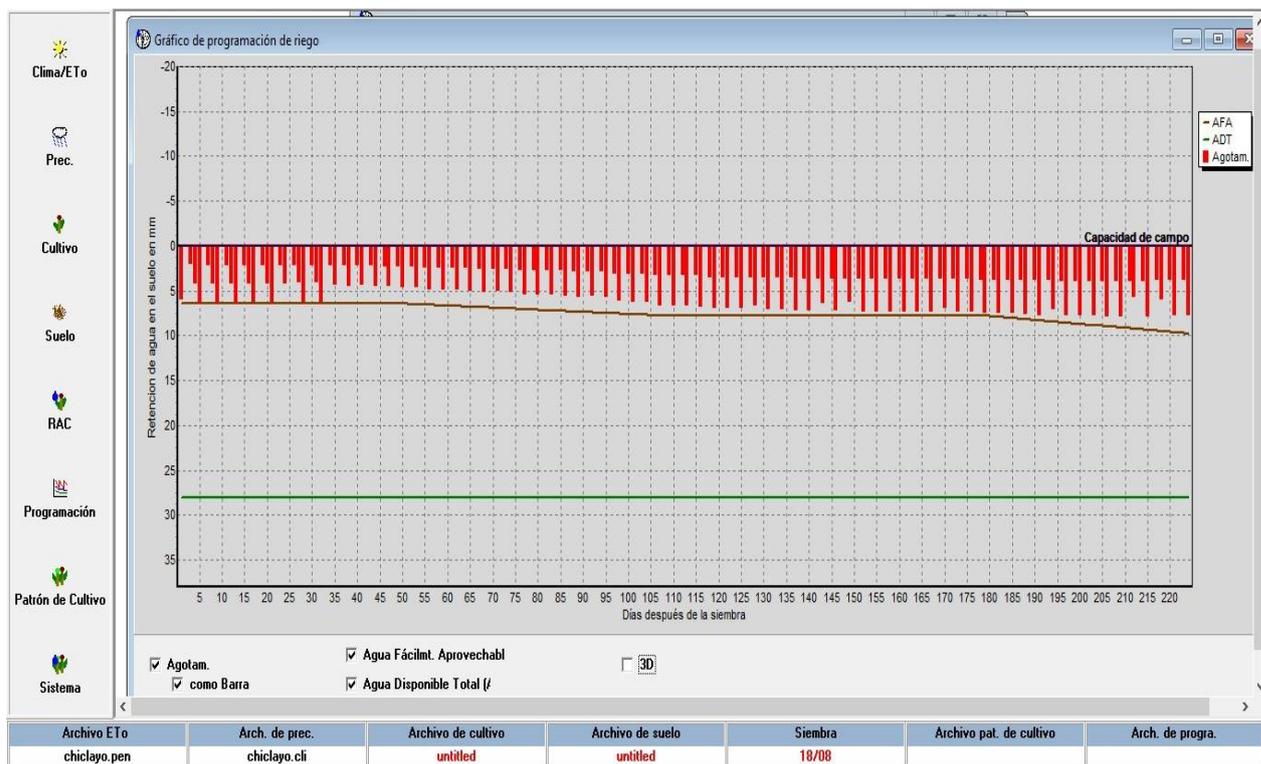


Gráfico 5: Programación de riego

Fuente: Software Cropwat.

Considerando que el caudal más alto requerido por el cultivo es de 0.68 l/s/ha, verificar en la Tabla 9 programación de riego, este valor convertido en litros hora es de 2448 l/h/ha. Según la verificación del cultivo la distancia entre plantas es de 5m y la distancia entre surco es de 6m, entonces, en 10, 000m² hay 340 plantas de palta, dividiendo el caudal total (2448l/h/ha) entre el número de plantas (340plantas) obtenemos un caudal de 7.2 l/h/planta. Teniendo el valor total del caudal 7.2 l/h/planta se puede seleccionar el gotero con un caudal igual o mayor a lo requerido por planta que es de 8l/h. Cómo se puede verificar en la Imagen 2 características de gotero.

E-2 Gotero



| Características

- » Régimen laminar
- » Toma-Salida para descarga a distancia (Conexión para microtubo)
- » Desmontable

| Especificaciones

- » Toma-Conexión de entrada y salida de 4 mm
- » Caudal de 4 y 8 l/h

Código	Artículo	Uds.	Código	Descarga nominal	Descarga (l/h) - Presión (bar)			
					1.00	1.50	1.75	2.00
460104	Gotero E-2, 4 l/h	1.000	DBK04	4 l/h	4,2	5,5	6,0	6,5
460108	Gotero E-2, 8 l/h	1.000	DBK08	8 l/h	7,3	9,5	10,5	11,0

Imagen 3: Características de gotero

Fuente: <https://www.materialesriegos.com>

Se ha realizado la selección de una cinta para el riego por goteo, se opta por una nueva cinta con gotero plano NEPTUNE, esta cinta puede resistir mucho más debido a la utilización de polietileno, tiene una línea azul en la cual permite una posición adecuada. Como se puede apreciar en la Imagen 3 características de cinta.

| Características

- » 1 línea azul.
- » Mismo orificio que en Aqua-Traxx®.
- » Diámetros de 16 y 22 mm.
- » Pared delgada de 6 a 24 mm.
- » Espaciamiento de 20 a 100 cm.
- » Perforado mecánico.
- » 5 caudales diferentes.



Imagen 4: Características de cinta

Fuente: <https://www.materialesriegos.com>

Selección de accesorios para cinta, los accesorios se utilizan para unir las cintas en los respectivos cortes e instalación de goteros, son de PVC y se presentan en diferentes dimensiones. Como se muestra en la Imagen 4 características de accesorios.

| ACCESORIOS PARA CINTA DE PASTILLA 16 mm

Toma Layflat a cinta hasta 0,45 mm, con anilla			
	Código	Artículo	Uds.
	820626	Toma Layflat a cinta anilla	50

Toma Pe a cinta hasta 0,45 mm, con anilla			
	Código	Artículo	Uds.
	820916	Toma Pe a cinta anilla	100

Empalme cinta hasta 0,45 mm, con anillas			
	Código	Artículo	Uds.
	390916	Empalme cinta anillas	100

Toma PVC con junta a cinta hasta 0,45 mm, con anilla			
	Código	Artículo	Uds.
	820926	Toma PVC a cinta anilla	100

Unión tubo 16 a cinta hasta 0,45 mm, con anilla			
	Código	Artículo	Uds.
	390906	Unión tubo 16 a cinta anilla	100

Imagen 5: Accesorios para cinta

Fuente: <https://www.materialesriegos.com>

Selección de electrobomba, teniendo el valor total del caudal que es 2448l/h/ha y el área tomada para realizar el estudio es de 3 hectáreas se calcula un valor total de 7344 litros hora para las 3 hectáreas. Se procedió a seleccionar una bomba de agua de marca BERKLIN de 5hp monofásica con una brida de succión de 4" y una brida de descarga de 4", considerando que la fuente del recurso hídrico es un yacimiento de agua que se almacena en un pozo de 1.5 metros de diámetro y 20 metros de profundidad, además detalla que el agua se logra obtener en una profundidad no menor a los 10 metros. Las características se muestran en la Imagen 5 características de bomba de agua.



Características

- Poder: 3.7 kw - 5 HP
- Caudal Máximo: 1200 L/min
- Succion máxima: 15 m
- Frecuencia: 60 hz
- Voltaje: 220v
- Altura máxima: 18m
- Entrada y salida: 4" x 4"



Imagen 6: Características de bomba de agua

Fuente: <https://berklin.com.pe/>

Selección de mangueras de distribución de agua, teniendo en cuenta que el pozo de fuente de recurso hídrico se encuentra a la orilla del área de cultivo, se ha seleccionado una manguera de diámetro (4"), con una capa de refuerzo textil de polyéster, tecnología de última generación garantizando su correcta conexión de las fibras de polyéster 3 PLY y un hilado de 3 direcciones para optimizar su funcionamiento, cuenta con tolerancias optimizadas ($\pm 5\%$), materia prima respetuosa con el medio ambiente, soporta temperaturas entre -20°C y $+70^{\circ}\text{C}$, resistencia a la radiación UV. Como se puede apreciar en la Imagen 6 manguera de distribución de agua.



Flat - Flow HD

CODIGO	ID		Espesor de pared MM	Presión de Trabajo BAR	Presión de Rotura BAR	Longitud de Rollo MT	Peso Rollo KG	Caudal máx Litros /hora
	MM	INCH						
539302	52	2"	1,80	6	18	100	31	16500
539325	66	2,5"	1,85	6	18	100	37	26000
539303	77	3"	1,47	4	12	100	45	39000
539304	104	4"	2,05	4	12	100	65	63500
539305	128	5"	2,20	3	9	100	90	102000
539306	156	6"	2,35	3	9	100	100	152000
539308	207	8"	2,50	3	9	100	140	250000

Imagen 7: Manguera de distribución de agua

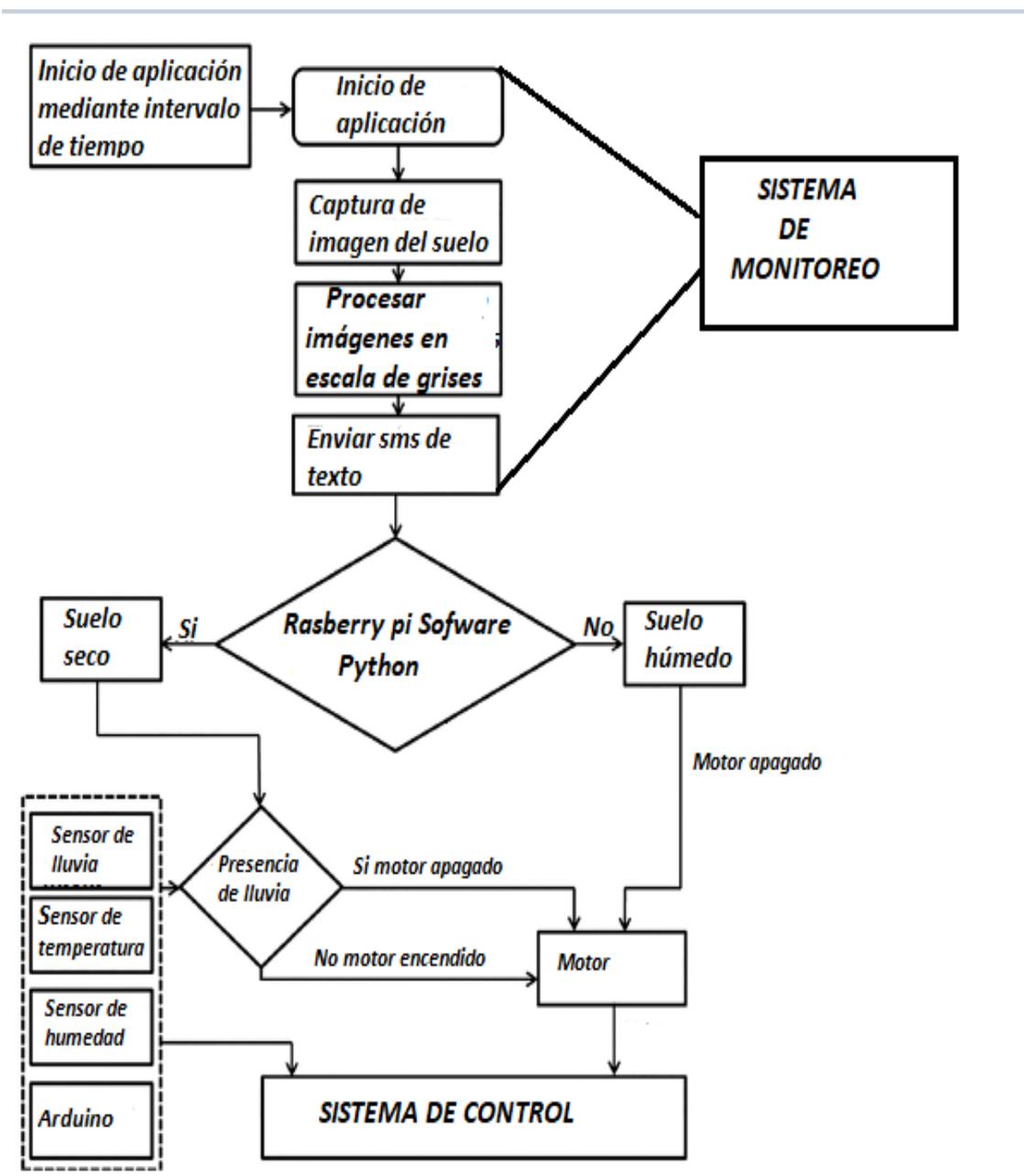
Fuente: <https://www.materialesriegos.com>

Selección de sistema de control.

Generalmente, el agua requerida por el cultivo de palta tipo Hass no es uniforme a lo largo del proceso en sus diferentes etapas inicial, desarrollo, medio y final, según el cálculo de requerimiento de agua en su etapa inicial es la etapa en que más agua requiere el cultivo ver en la Tabla 9 programación de riego. El sistema de riego no solo depende del requerimiento del agua del cultivo, sino también de los factores ambientales del campo agrícola, las condiciones ambientales deben monitorearse de forma continua como la humedad, la temperatura, las precipitaciones y el factor de contenido de humedad del suelo tomaran la decisión de la cantidad de agua requerida y de la activación del sistema de riego (Castro *et al*, 2008). Para llevar a cabo el sistema de control se requiere los siguientes dispositivos como sensor de humedad, sensor de temperatura, sensor de lluvia, Arduino, cámara fotográfica, bomba de agua. Como se muestra en el diagrama de flujo de sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes.

Diagrama de flujo sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes.

El diagrama de flujo representa la esquematización gráfica del algoritmo, en este apartado se muestra la construcción de los pasos a seguir para poder alcanzar el adecuado funcionamiento del sistema.



Principio de funcionamiento.

Técnicas y componentes utilizados.

Arduino.

Para realizar la selección de Arduino hay que tener en cuenta las necesidades y los ajustes de programación, en este caso se ha considerado óptimo un Arduino UNO – Java Tpoint, se caracteriza por su poderosa placa que combina con las funcionalidades de Arduino tipo zero y modulo wifi, cuenta con una configuración muy alta y potente que tiene la capacidad de procesar video, audio y fotografía (Cervantes *at al*, 2016). Como se muestra en la Imagen 7 las características de Arduino.

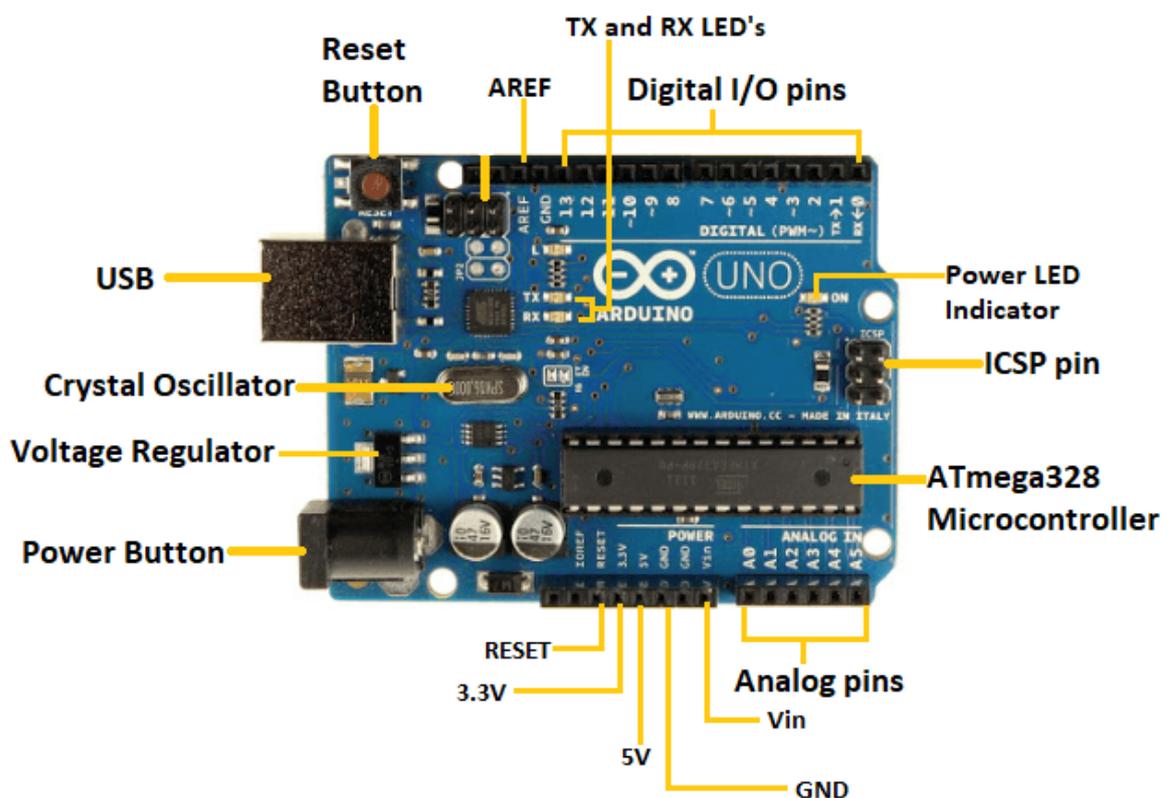


Imagen 8: Características Arduino

Fuente: <https://docs.arduino>.

Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura es un dispositivo que se encarga de encontrar la temperatura de la atmósfera, este parámetro físico es convertido en voltaje eléctrico (Gonzales *et al*, 20112). Para realizar la selección del sensor de temperatura hay tener el valor de las temperaturas mínimas y máximas del campo donde se va a trabajar. Como se muestra en el Gráfico 6 temperatura máxima y mínima.

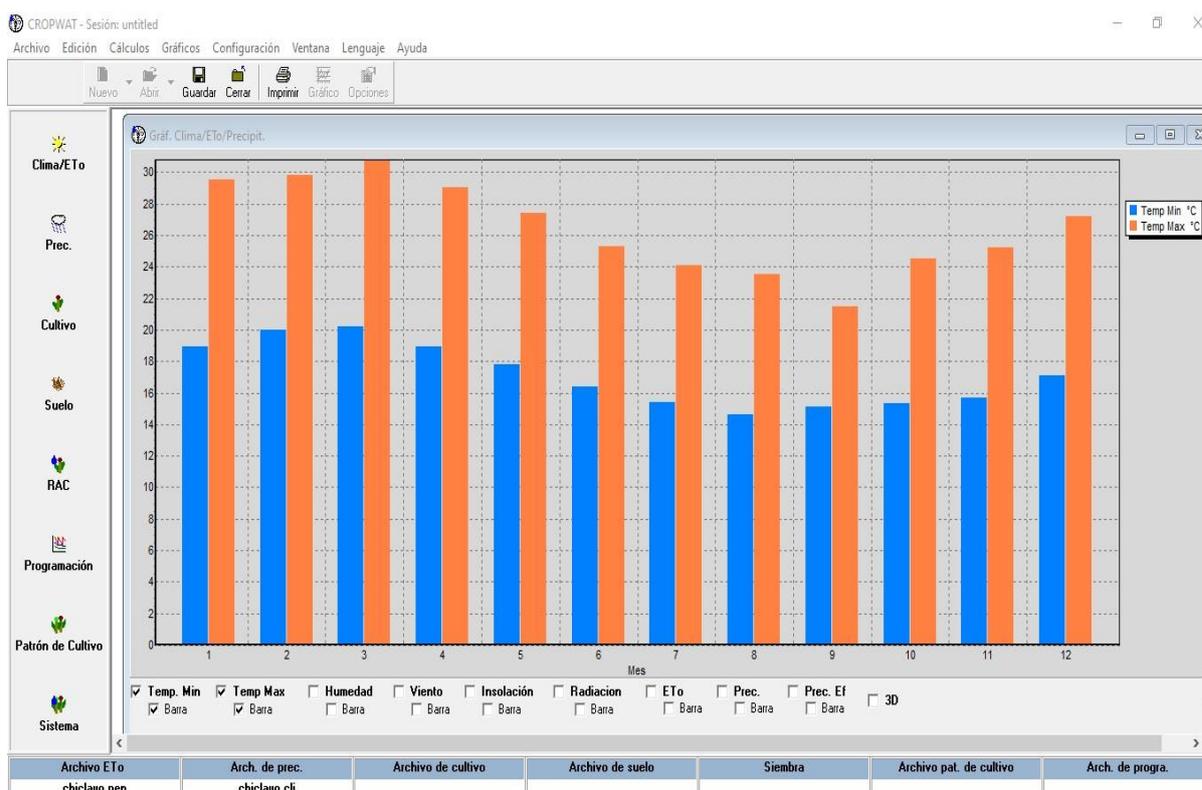


Gráfico 6: Temperatura máxima y mínima

Fuente: Software Cropwat.

Teniendo los valores de temperatura máximo y mínimo en °C se procedió a seleccionar un sensor de temperatura tipo LM35, este dispositivo es calibrado para medir una temperatura mínima de 2 °C y una temperatura máxima de 150°C, cuenta con una salida lineal además es compatible con cualquier tipo de Arduino. Como se muestra en la Imagen 7 características de sensor de temperatura.

Teniendo los valores de humedad máximo y mínimo se procedió a seleccionar un sensor de humedad de tipo HR 202, este sensor tiene la capacidad de detectar la humedad relativa entre 20 % a 95% y una temperatura de 60 °C, puede operar entre 3.3 a 5 v produciendo salidas analógicas y digitales según los cambios climáticos (Osma & Villamisar, 2020). Como se puede ver en la Imagen 8 características sensor de humedad.

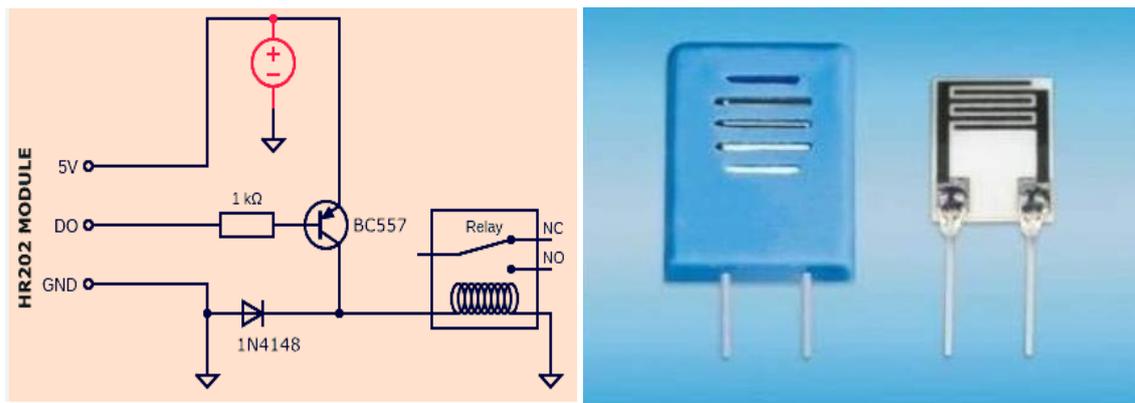


Imagen 10: Características de sensor de humedad

Fuente: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores>

Sensor de lluvia.

El sensor de lluvia es el dispositivo que se encarga de detectar la lluvia en el campo agrícola. Para realizar la selección óptima del sensor de lluvia hay tener los valores de precipitación efectiva en la zona donde se va a aplicar el sistema. Como se muestra en el Gráfico 8 precipitación efectiva.

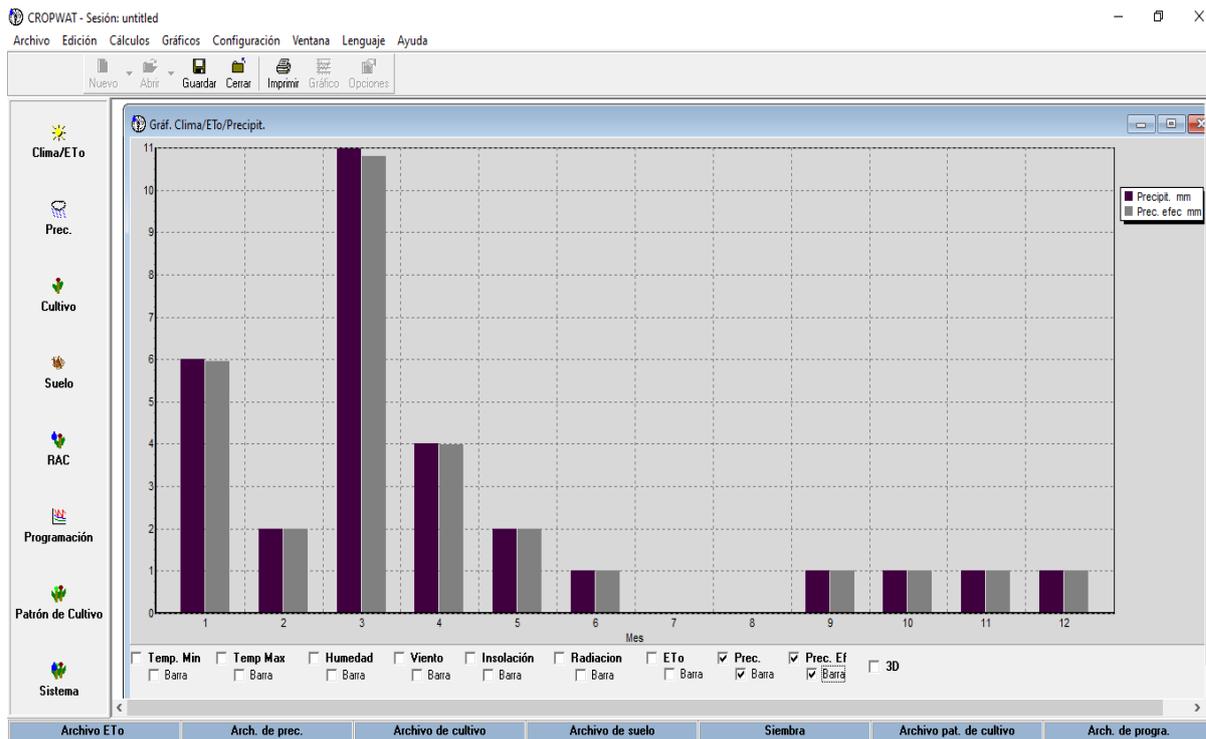


Gráfico 8: Precipitación efectiva

Fuente: Software Cropwat

Teniendo los valores de precipitación efectiva se procedió a seleccionar el sensor de gotas de lluvia de tipo PRD 180, este sensor tiene dos módulos, un módulo que detecta las gotas de lluvia y otro módulo de control, el módulo de control produce salidas analógicas y digitales, la salida digital es utilizada para detectar las gotas de lluvia de acuerdo a la intensidad, la placa de sensor actúa como una resistencia variable que cambia de acuerdo con el agua que cae sobre la placa estos valores pueden oscilar entre 100k- es en mojado y 2M -es en seco, el voltaje de funcionamiento es de 3.3 a 5 v y la corriente es inferior a 20ma además cuenta con compatibilidad con Arduino (Perdigones *et al*, 2004). Como se muestra en la Imagen 9 características de sensor de lluvia.

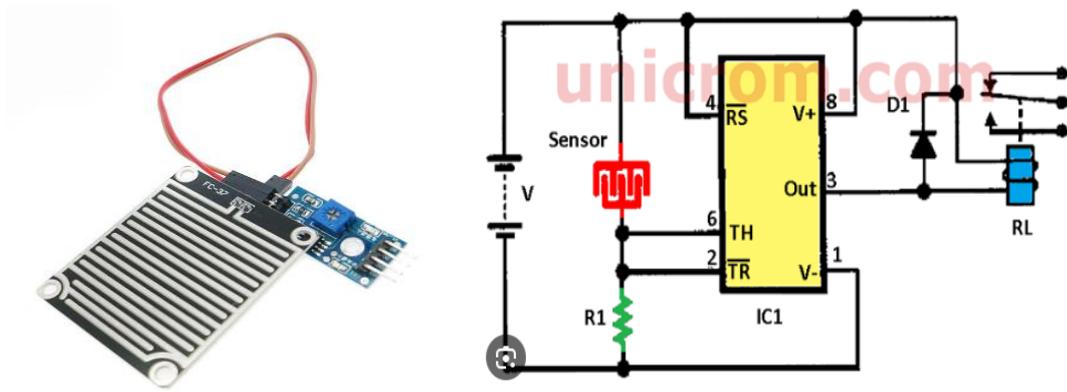


Imagen 11: Características de sensor de lluvia

Fuente: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores>

Para validar el funcionamiento del sistema de control se procedió a realizar la simulación del sistema en el software Python, utilizando todos los dispositivos seleccionados según sus características, se consideró valores reales de los cambios climáticos como son la temperatura, humedad del suelo, presencia de lluvia. Como se muestra en la Tabla 14 variables del estado climático y condición del sistema de riego.

Tabla 14: Variables del estado de suelo

Variables del estado climático	Condición del sistema de riego
Temperatura 32 °C/humedad 40%	Sistema de riego apagado
Temperatura 25 °C/humedad 40%	Sistema de riego encendido
Temperatura 20 °C/humedad 50%	Sistema de riego encendido
Temperatura 15 °C/humedad 60%	Sistema de riego apagado
Temperatura 20 °C/humedad 50% + presencia de lluvia	Sistema de riego apagado

Fuente: elaboración propia.

impedirían capturar las imágenes de forma eficiente, teniendo en cuenta que es un campo agrícola y que existen muchos factores como la lluvia, arena, y vientos se el teléfono inteligente se protege con una tapa hermética rectangular resistente al agua con caja con TARG, la cámara del teléfono inteligente se posiciona enfocando hacia el TARG para capturar la imagen de suelo. Se ha seleccionado un teléfono inteligente con las siguientes características: Android versión 12, tamaño de memoria RAM de 4 a 6 GB, capacidad de almacenamiento interna de 128 GB a 256 BG y una cámara de 40 a 50 megapíxeles (Tovar *at al*, 2022). Como se puede apreciar en la Imagen 11 características del teléfono inteligente.



Imagen 13: Teléfono inteligente

Fuente: <https://es.123rf.com/>

Raspberry pi.

La Raspberry pi es una herramienta que es diseñada para facilitar la programación en la robótica y la electrónica en grandes y pequeñas escalas dependiendo a la dimensión del proyecto, en este caso se va a trabajar con las programación de tiempos en las tomas de capturas por día, la programación del análisis de las imágenes y la programación de envío automático de las notificaciones al operador y/o agricultor, se ha seleccionado una Raspberry pi con las siguientes características como se muestra en la Figura 10 características de Raspberry pi: Memoria RAM 4 GB, puerto USB, conexión, procesador quad- core

ARM Cortex – A72 64 bits, tres puertos USB 3.0, puertos micro HDMI (4kp60), conexión WIFI, Bluetooth 5.0 y Micro SD (Guzmán *et al*, 2023).



Imagen 14: Características de Raspberry pi

Fuente: <https://www.tiendatec.es/?utm>

Principio de funcionamiento.

Para validar el funcionamiento del sistema propuesto se procedió a realizar la simulación en el software Python, el flujo del trabajo completo del sistema de monitoreo comienza por la toma de una fotografía del suelo con el teléfono inteligente, posteriormente esa imagen es analizada de acuerdo a la escala de grises por color, el sistema programado hace el cálculo de diferencia de grises y calcula el porcentaje de humedad. Finalmente, la información analizada y calculada según lo programado se refleja en una notificación por vía WhatsApp al operador responsable del riego. Cabe resaltar que para el funcionamiento y la relación entre teléfono inteligente y el Raspberry pi 4 es indispensable la conexión de WIFI a la misma red de internet.

Para realizar la técnica de procesamiento de imágenes se tomó la muestra del suelo en dos condiciones entre totalmente húmedo y totalmente seco, las imágenes capturadas en su forma natural son la mezcla de color verde(G), rojo®, azul(B), las imágenes capturadas son convertidas a escala de grises (GI) con la Ecuación 7 escala de grises (GI). Como se muestra en las Imágenes 13,14, 15,16

(7)

$$GI = 0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B$$



Imagen 15: Muestra de suelo seco

Fuente: Teléfono inteligente



Imagen 16: Imagen procesada suelo seco

Fuente: Software Python



Imagen 17: Muestra suelo Húmedo

Fuente: Teléfono inteligente

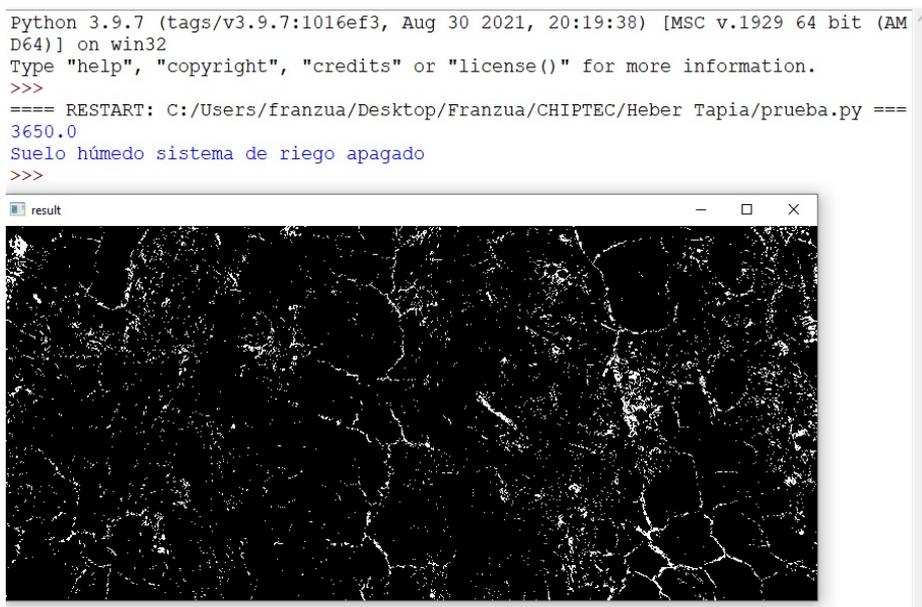


Imagen 18: Imagen procesada suelo Húmedo

Fuente: Software Python

Programación Python.

Para hacer la programación de procesamiento de imágenes de las condiciones de suelo, se consideró los siguientes códigos : import cv2 es la librería de procesamiento de imágenes, el import pyautogui es una librería para escribir comandos automáticos en este caso se ha utilizado para presionar la tecla enter para el envío automático de las notificaciones por mensaje, el import webbrowser es una librería que permite interactuar con el WhatsApp web y por último se consideró la librería time que permite dar algunos lapso de tiempo que es muy importante en una programación. Como se muestra en la Imagen 17 códigos de programación de procesamiento de imágenes.

```
import cv2 # libreria de procesamiento de imagenes
import pyautogui as pg # libreria para comandos de windows
import webbrowser as web # libreria de paginas web
import time # libreria de tiempo

suma = 0
img1 = cv2.imread('1.jpg')
img2 = cv2.imread('4.jpg')

img3 = cv2.subtract(img1,img2)

gray = cv2.cvtColor(img3,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
t,dst = cv2.threshold(gray,80,255,cv2.THRESH_BINARY) # pasamos binario

contours,_ = cv2.findContours(dst,cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE) # deteccion de contornos
for c in contours:
    area = cv2.contourArea(c)
    suma = suma+area
print(suma)
celular = '51_960504999' # celular
if suma> 3000:
    mensaje = 'Suelo húmedo sistema de riego apagado'
else:
    mensaje = 'Suelo seco sistema de riego encendido'

print(mensaje)
time.sleep(10) # una pausa de 10seg
web.open("https://web.whatsapp.com/send?phone="+celular+"&text="+mensaje)# configuramos y abrimos la pagina web
time.sleep(10)# una pausa de 18seg
width,height = pg.size() # calcula las dimensiones de la pantalla
pg.click(width/2,height/2) # da un click en el centro
time.sleep(10) # espera 10seg
pg.press('enter') # presiona el enter
time.sleep(10) # espera 10seg
pg.hotkey('ctrl','w') # presiona 2 teclas a la vez

cv2.imshow('result',dst)
```

Imagen 19: Códigos de programación

Fuente: Software Python

Para realizar el cálculo de la eficiencia del recurso hídrico en un sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes, se considera los siguientes parámetros, según (Gil *et al*, 2007), la eficiencia del recurso hídrico en el riego de los cultivos se calcula con la Ecuación 7 eficiencia de riego.

- Eficiencia de irrigación (% , EE)
- Eficiencia de aplicación (% , EA)

(7)

$$\text{Ef. Riego} = \frac{EE+EA}{2}$$

Los valores de requerimiento de lixiviación (RL), se halla con los valores normales de agua de riego verificar en Anexo 6 aplicando la Ecuación 8 requerimiento de lixiviación.

(8)

$$RL = \frac{CEa}{2[máx.CEs]}$$

Donde:

CEa: Corresponde de conductividad eléctrica de agua.

Ces: Conductividad eléctrica de sales en el agua

Reemplazando datos tenemos que:

$$RL = \frac{0.89}{2[10]} = 0.044$$

Para realizar los cálculos de la eficiencia de aplicación de riego (% , EA), se consideran los parámetros de lámina neta (LN) de riego y lámina bruta (LB) de riego verificar en la Tabla 13 programación de riego, se halla con la Ecuación 9 eficiencia de aplicación de riego.

(9)

$$EA = \frac{\text{LÁmina neta (LN)}}{\text{LÁmina bruta (LB)}}$$

Reemplazando la ecuación tenemos que:

$$EA = \frac{680.6}{972.3} * 100 = 0.70 = 70\%$$

Para realizar el cálculo de eficiencia estacional de irrigación se consideró los valores de distribución y transpiración estacional, según FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), y la Ecuación 10 eficiencia estacional de irrigación.

Tabla 15: Uniformidad de distribución

Métodos de riego	Eficiencia De Riego %
Tendido	30
Surcos	40
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	85 - 95

Fuente: FAO.

(10)

$$EE = \frac{UD}{Te[1.0 - RL]}$$

Donde:

UD: corresponde al porcentaje de uniformidad de distribución

Te: Es el valor de transpiración estacional

RL: Es el requerimiento de lixiviación

Reemplazando la ecuación tenemos que:

$$EE = \frac{0.9}{0.84[1.0 - 0.044]} * 100 = 112.07$$

Para calcular la eficiencia del recurso hídrico en porcentaje, se aplica la Ecuación 7 eficiencia de riego.

$$\text{Ef. Riego} = \frac{EE+EA}{2}$$

Reemplazando los datos tenemos que:

$$\text{Ef. Riego} = \frac{112.07+70}{2} = 91 \%$$

Después de realizar los cálculos respectivos se procedió a graficar la comparación de la eficiencia del recurso hídrico en el cultivo de palta Hass, tomando los valores de un sistema de riego convencional o por surco y los valores de un sistema de riego por goteo basado en procesamiento de imágenes, logrando mejorar la eficiencia del recurso hídrico en la irrigación de los cultivos de palta hass de un 41 %. Como se muestra en el Gráfico 9 eficiencia del recurso hídrico con riego por surco y por goteo.

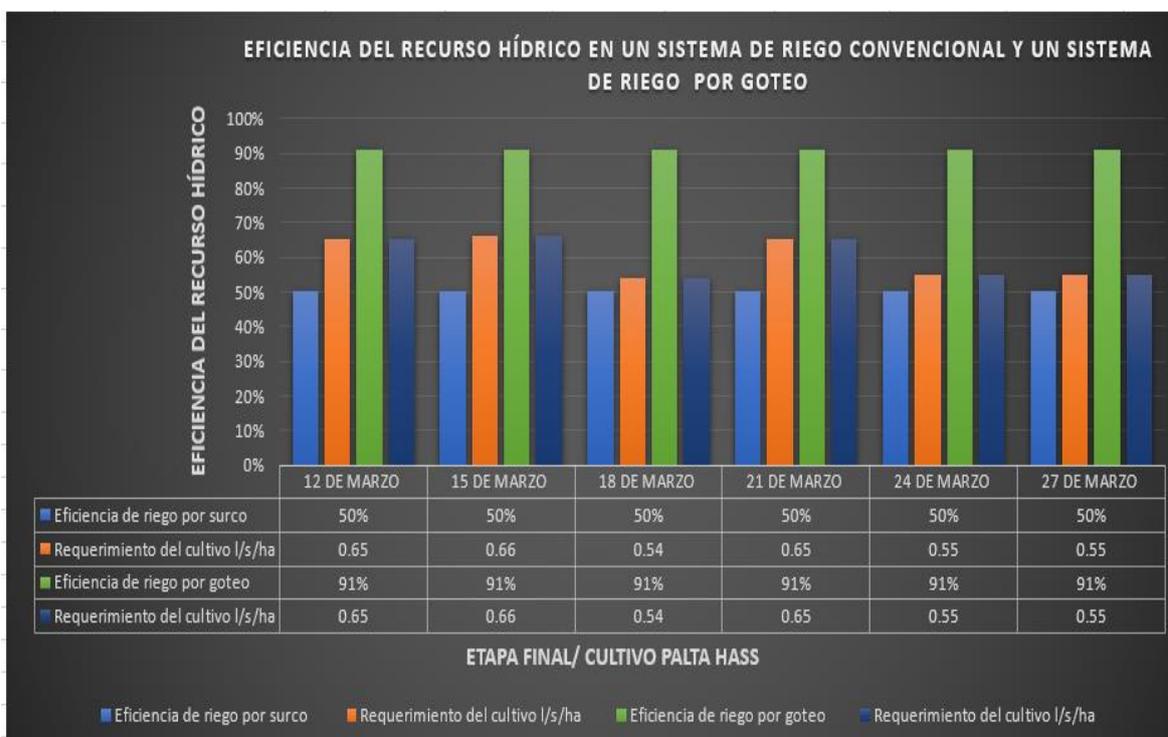


Gráfico 9: Eficiencia del recurso hídrico por surco y goteo

Fuente: Microsoft Excel

V. DISCUSIÓN

Se realizó el diagnóstico de la situación actual del sistema de riego en los cultivos de palta Hass: Para diagnosticar las situación actual de riego y las necesidades del de los cultivos se tuvo en cuenta, la fuente de agua, sistema de monitoreo, eficiencia del recurso hídrico y los meses más críticos en el abastecimiento de agua en los cultivos de palta Hass, con estos datos recopilados se calculó que hay un gran déficit en la eficiencia del recurso hídrico hasta un 50% y un gran esfuerzo físico en el sistema de monitoreo del estado de riego y las condiciones del suelo, además según el regante del sector agrícola indica que el caudal del yacimiento hídrico baja en los meses de septiembre, octubre y noviembre causando un estrés hídrico en los cultivos, igualmente como refiere el **Ministerio De Agricultura Y Riego** en su proyecto “APOYO AL DESARROLLO DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL PALTA EN LAS REGIONES DE ANCASH, CAJAMARCA Y LIMA”. Refiere que, el mal uso del recurso hídrico en los cultivos puede causar muchos problemas de calidad del producto como son, existencia de plagas, maduración prematura, caída de frutos y mayor consumo de agua, también indica que según las experiencias de campo el consumo aproximado al año de recurso hídrico con un método convencional o por surco en el cultivo de palta hass es de 12.000 m³ por hectárea y con una eficiencia de riego de 40% a 50% según el tipo de suelo y los cambio climáticos, según el estudio realizado el cultivo de palta Hass es muy exigente en agua es por eso que, el exceso de recurso hídrico en las platas produce asfixia en la raíz, en la cual se ha identificado métodos de irrigación por gravedad, inundación y por surco en diferentes zonas agrícolas, con estos métodos la distribución se realiza mediante canales lineales y no lineales, canales secundarios y canales terciarios no revestidos hasta llegar a las parcelas de los cultivos causando una baja eficiencia de distribución muy baja.

En lo que es la implementación de un sistema de riego por goteo basado en procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia del recurso hídrico, se realizaron los cálculos de los parámetros principales involucrados en el estudio utilizando el Software Cropwat 8.0, evapotranspiración potencial (ET_o) con un valor de 4.19 mm/día, precipitación efectiva con un valor de 29.7mm, un coeficiente de cultivo (K_c) con un valor de 0.75 como máximo, un total de 225 días programados en su etapa inicial, desarrollo, media y final del cultivo, con una profundidad radicular de 1 metro como máximo y un agotamiento crítico de 0.35, los valores de requerimiento de agua en el cultivo de palta Hass por hectárea en la etapa inicial en el mes de agosto es de 6.4 mm/dec y en el mes de septiembre con valor de 22.6 mm/dec, cálculo de lámina bruta total con un valor de 972.3 mm, cálculo de lámina neta total con un valor de 680.6 mm, cálculo de requerimiento real de agua en el cultivo por hectárea con un valor de 684.4 mm, uso real de agua en el cultivo con valor de 7001.1 mm por hectárea, el sistema de control automático permite hacer la activación del riego de acuerdo a las señales del estado del suelo y los cambios climáticos recopiladas por el banco de sensores, el sistema de monitoreo se realiza con las capturas de imágenes digitales en tiempo real por un teléfono inteligente para luego ser procesadas por escala de grises y determinar si el suelo está completamente seco o completamente húmedo para luego ser enviado por mensajes WhatsApp al operador de riego o agricultor, con una eficiencia de recurso hídrico del 95%, así como refiere **Bach. Dick Alex Effio Ayasta (2023)** en su proyecto “DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO POR GOTEO EN LAS 8.7 HECTAREAS DE CULTIVO DE PALTA HASS EN EL CASERIO CHAUPE – LA VICTIRIA – CHICLAYO – LAMBAYQUE”. Indica que, la evapotranspiración potencial (ET_o) calculada utilizando el Software Cropwat es de 3.98 mm/día, un coeficiente de cultivo palta hass (K_c) es de 0.60 a inicios de año, 0.85 a mediados de año y 0.75 a fin de año, ha calculado una eficiencia de riego por surco de 47 %, con una demanda de recurso hídrico de 4.42 mm/día en el mes de enero y 4.40 mm/día en el mes de diciembre, con una eficiencia de recurso hídrico del 90 %. Los valores de los cálculos tienen una variedad mínima dependiendo al tipo de suelo, los estados climáticos, y la edad del cultivo.

De igual forma como mencionan los **Dr. S. Velmurugan, V. Balaji, T. Manoj Bharati, K. Saravanan (2020)**, en su artículo “UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE BASADO EN IOT QUE UTILIZA SUELO PREDICCIÓN DE HUMEDAD Y CLIMA”. Refiere que, el parámetro más crítico en el desarrollo de un sistema de riego inteligente es la humedad del suelo ya que, una serie de variables afecta la humedad del suelo, también indica que debido al desarrollo intensivo de las tecnologías, la precisión del pronóstico del tiempo tiene un resultado significativo que se pueden utilizar para predecir las variables en los cambio de la humedad del suelo, en la cual propone un diseño arquitectónico de riego inteligente baso en IoT junto con un enfoque híbrido basado en aprendizaje automático para predecir la humedad del suelo, ha empleado un algoritmo que utiliza la información de sensores del pasado reciente, y los valores del pronóstico del tiempo para predecir las variables de la humedad del suelo en los días próximos, indica que debido que las tecnologías es de estándar abierto el prototipo es muy rentable. Al utilizar un solo sensor para detectar los cambios climáticos dificultaría realizar una buena automatización y un control óptimo del riego, es por eso que en este caso se ha utilizado un banco de sensores que permita identificar los drásticos cambios climáticos como son las temperaturas del ambiente, la humedad del suelo, y la presencia de lluvia, con el fin de no aplicar riegos innecesarios a los cultivos.

Según el artículo de **Christian César Acero Catacora & Enrique Lanchipa Valencia (2021)** “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS PARA OPTIMIZAR LAS GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE LA RIGIÓN TACNA”. Indica que, pudo lograr la reducción de tiempo de riego efectivo de los cultivos hasta en 21.25 % gracias a la aplicación de sistemas de Internet de las cosas se puede optimizar la gestión de agua en el sector agrícola ya que el agua que se utiliza en el riego está relacionada con el tiempo de riego, logró resultados satisfactorios en el manejo y consumo del recurso natural tan escaso a nivel mundial que es el agua dulce en la agricultura, comparando con otras metodologías convencionales y tradicionales de irrigación. Indica que usando sensores en un dispositivo electrónico como el Damla, mejora significativamente los procesos de irrigación en el sector agrícola en los meses que los cultivos requieren de más agua, en este caso se ha seleccionado un teléfono inteligente para capturar las imágenes digitales del suelo, un Raspberry pi para la

programación y el procesamiento de imágenes, considerando su alta tecnología, la capacidad de almacenamiento, la facilidad de manejo y la facilidad de compra en el mercado. Con esta metodología no solo se busca reducir tiempos de riego, sino que también se logra reducir la mano de obra, monitoreo continuo del estado del suelo en tiempo real, mejorar la aplicación de riego y aumentar la eficiencia del recurso hídrico.

En este artículo la metodología aplicada por **Janak Patel, Patel Ektakumari, Priya Pati (2019)** “SENSOR Y SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE BASADO EN LA NUBE CON ARDUINO”. Su metodología propone un sistema de riego basado en Arduino con sensores conectados que permiten controlar el sistema a través de los valores detectados, estos datos se procesan y analizan por la plataforma en la nube Thingspeak y el módulo ESP8266 se conectan por medio de la conectividad a internet, con este estudio se propone lograr que el sistema de riego proporcione una distribución uniforme de agua, refiere que cuando el nivel de humedad del suelo está por debajo del valor umbral, el sistema de riego se activa de forma automática, y cuando está en un nivel normal el sistema de riego se desactiva de forma automática. En este caso se considera necesario 3 tipos de sensores para controlar automáticamente el sistema de riego, que son sensor de temperatura, sensor de humedad y sensor de lluvia, cada sensor cumplen una función muy importante en el control de irrigación con la finalidad de ajustar al máximo el consumo de agua en el sector agrícola, según parámetros agronómicos refieren que no se debe inyectar agua a un cultivo en altas temperaturas, por lo tanto, el sensor de temperatura detecta valores entre 30 °C a 35 °C y un nivel de agua por debajo del umbral el sistema de riego se mantiene apagado hasta que la temperatura baje a un rango de 25 °C como mínimo, por otro lado el sensor de lluvia detecta la presencia de gotas de agua y el sistema de riego se mantiene apagado, con estos dispositivos y una programación adecuada se puede lograr el ahorro de agua y mejorar la eficiencia del recurso hídrico.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó un diagnóstico de la técnica de irrigación aplicado en el cultivo de palta Hass, en la cual se identificó que, utilizando la técnica de riego por surco demanda de mayor esfuerzo físico, dificultades de desarrollo en el cultivo, maduración prematura de los frutos, mayor cantidad de recurso hídrico entre 40% a 50% más de lo que requiere el cultivo, se calculó la eficiencia de recurso hídrico con un valor de 50% en la etapa final del cultivo, los problemas diagnosticados fueron causados por falta de control y monitoreo de sistema de riego.

Se determinaron los parámetros para la implementación de un sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes utilizando los softwares libre Climwat 2.0, Cropwat 8.0 y Soil water characteristics, se realizaron los cálculos de evapotranspiración potencial ETo, precipitación efectiva, programación de siembra y cosecha del cultivo, tipo de suelo, requerimiento de agua para el cultivo y programación de riego en la etapa inicial, desarrollo, medio y final del cultivo, se realizó la selección de mangueras, goteros, bomba de agua de acuerdo al área de cultivo y caudal requerido.

Los dispositivos utilizados para el sistema de control de riego y la identificación de las variables de los cambios climáticos fueron sensor de humedad tipo HR 202, sensor de temperatura tipo LM35 y sensor de lluvia tipo PRD 180 y Arduino UNO – Java Tpoint, con este sistema de alta tecnología se tomó el control de irrigación de acuerdo a los cambios climáticos o cada vez que el cultivo requiera de agua.

Los dispositivos seleccionados para el sistema de monitoreo del estado del suelo fueron un teléfono inteligente, un Raspberry pi, internet wifi y software Python, con este sistema se logró recopilar información del estado del suelo entre completamente húmedo o completamente seco a través de la toma de imágenes digitales en tiempo real, luego fueron procesadas en escala de grises en el software Python para posteriormente esa información recopilada fue enviada por un mensaje de texto al agricultor y operador de riego, con esta metodología se logró mejorar la eficiencia de riego al 91 % logrando un resultado significativo en el ahorro del agua en el cultivo de palta Hass.

VII. RECOMENDACIONES

En el sector agrícola el sistema de riego es fundamental para el buen desarrollo de los cultivos y el agua es un insumo que desempeña un papel muy importante en la seguridad alimentaria, en la cual se recomienda aplicar técnicas de irrigación que permita el uso responsable de los recursos utilizados.

Los cambios climáticos varían de acuerdo a la zona del sector agrícola, los requerimientos de agua pueden ser mayores o menores dependiendo al tipo de suelo, la cantidad de parcelas a regar y el tipo de cultivo, es recomendable hacer un análisis de los parámetros antes mencionados para realizar la selección adecuada de los dispositivos y cumplan con el óptimo funcionamiento del sistema.

El sistema de implementación consta de dispositivos electrónicos que necesitan una inspección visual ya que pueden ser dañados por el sol, la lluvia y otras reacciones de naturaleza, se recomienda ubicar los dispositivos en un lugar menos propensos a los daños, además utilizar materiales de protección para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema.

Se recomienda seguir desarrollando metodologías relacionadas con las variables climáticas. Por ejemplo, la radiación solar y la velocidad del viento mediante sensores para mejorar el control de riego y garantizar el buen desarrollo de los cultivos.

REFERENCIAS

ACERO, Christian, y LANCHIPA, Enrique. Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna. *Ingeniería Investiga*, [en línea], 3 (1). Enero-Junio 2021. ISSN: 2708-3039. Disponible en: <http://161.132.207.136/ojs/index.php/ingenieria/article/view/478>

ARANGO, A. *Riego por goteo subterráneo intermitente controlado vía internet para el césped* (Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. 2019. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4292>

ASCENSIOS, David, [et al.]. Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino. *Revista de investigación Altoandina*, 22 (1). ene/mar 2020. ISSN: 2313-2957. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S231329572020000100095&script=sci_arttext

ARIAS, José. *Diseño y metodología de la investigación*. Ed. Enfoques COUNSULTING. Lima, 2022. 133pp. ISBN: 9786124844423

BARÓN, Julio, VANEGAS, Sebastián, y ROCHA, Camilo. Gestión del ambiente del invernadero mediante un microcontrolador electrónico para el cultivo de vegetales. *Revista Espacios*, 41 (19). 2020. ISSN: 0798-1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n19/a20v41n19p01.pdf>

BARKUNAN, S. R., BHANUMATHI, V., & SETHURAM, J. (2019). Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. *Computers & Electrical Engineering*, 73, 180-193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.11.013>

CAICEDO, L. [et al.]. Medición de humedad de suelos: revisión de métodos y características. PADI: Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías

del ICVI. 9 (17), pp. 1-8. 2021. ISSN: 2007-6363. Disponible en:
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/7035>

CASTRO POPOCA, Martiniano, et al. Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura técnica en México*, 2008, vol. 34, no 4, p. 459-470. Disponible en

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S056825172008000400009&script=sci_abstract&tlng=pt

CISNEROS, Enrique, [et al.]. Operational Parameters in Center Pivot Machines and their influence on the delivery irrigation duty. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30 (3). Jul-Sept. 2021. ISSN: 2071-0054 Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542021000300001

CRADDOCK, Hillary, [et al.]. Perceptions on the use of recycled water for produce irrigation and household tasks: a comparison between Israeli and Palestinian consumers. *Journal of environmental management*, 297, 1 Noviembre, 2021. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721012962>

CUESTA, Gregory. [et al.]. Investigation and monitoring change detection in synthetic aperture radar satellite images for disaster analysis in agriculture and mining. *Eur. Chem. Bull*, 12 (1), pp. 1850-1860. 2023. Disponible en:
<https://www.eurchembull.com/uploads/paper/c46f9fff551155c950ddaa55d7a6dbe.pdf>

CERVANTES, Williams R.; SANTANA, Luis A.; MOLINA, Bethsy A. Arduino en la automatización de los sistemas de riego. 2016, vol. 17, no 4, p 10 – 101. Disponible en:

<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/8859>

CONEO, Jorge González; PÉREZ, Bernardo Nuñez; MOLINARES, Pablo Vilorio. Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. *Scientia et Technica*, 2012, vol. 17, no 50, p. 128-131. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84923878019>

DOMÍNGUEZ, Jesús, [et al.]. Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural water management*, 228. November, 2020
ISSN: 037-3774. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377419315641?via%3Dihub>

EL MEZOUARI, Asmae, EL FAZZIKI, Aziz, y SADGAL, Mohammed. Smart Irrigation System. *ScienceDirect*, 55 (10), 3298-3303. 2022. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322021358>

GESTO, Esteban, [et al.]. Avances en el desarrollo de un sistema de monitoreo y control de un módulo de producción de cultivos hidropónicos para regiones de latitudes elevadas. CAI Congreso Argentino de Agroinformática. Pp. 70-82. ISSN: 2525-0949. 2020. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9340>

GUZMAN, Mendez, et al. Sistema De Riego Automatizado Para La Huerta Escolar Del Colegio Victorioso. 2023. Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8617>

HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México, DF., McGraw-Hill Interamericana, 2018. pp. 752

INGA, Rubén. *Implementación de un sistema automático de riego agrícola basado en Raspberry Pi y la plataforma IoT artik cloud*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicación). Universidad Nacional

de Piura, Perú, Facultad de Ciencias, 2021. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3393>

KALAVAINI, S., SHANTHARAJAH, S., y PADMA, T. Agricultural leaf blight disease segmentation using indices-based histogram intensity segmentation approach. *Multimedia Tools and Applications*, 79, pp. 9145-9159. January 2019. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-018-7126-7>

KHERARE, Ganesh. [et al.]. Internet of things based best fruits segregation and taxonomy system for smart agriculture. *IoT and cloud computing for societal good*, pp. 37-57. November 2021. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-73885-3_4

KOECH, Richard, y LANGAT, Philip. Improving irrigation water use efficiency: a review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water*, 10 (12), pp. 1771. 2018. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/12/1771>

LAVERDE Jeannette, y LAVERDE, Carlos. Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: una propuesta para sistemas de riego. *Dilemas contemporáneos: educación, políticas y valores*, 8 (2). Abril 2021. ISSN: 2007-7890. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200778902021000100031&script=sci_arttext

MÍGUEZ, Iván, [et al.]. Design, Implementation and Empirical validation of an IoT Smart irrigation system for Fog Computing application based on LoRa and LoRawan sensors nodes. *Sensors*, 20 (23), 6865. 2020. ISSN: 1424-8220. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/23/6865>

PERALTA, Olvin y URBINA, Jacinto. Riego por goteo convencional y automatizado en el cultivo de tomate y berenjena. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Managua, Nicaragua. 2022. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4561/1/tnf06p426.pdf>

PERDIGONES, A., et al. Sensores para el control climático en invernadero. *Tecnología de Producción*, 2004. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/28279764_Sensores_para_el_control_climatico_en_invernadero.

PÉREZ, Andrés, MACÍAS, Antonio, y GUTIÉRREZ, Verónica. Situación social y tecnológica en el manejo del agua para riego en Puebla, México. *Acta Universitaria* 29. enero 2020. ISSN: 2007-9621.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662019000100168

QUIJÍA, Álvaro. *Análisis del impacto de implementación del sistema de riego por goteo en la productividad del sector agrícola en la asociación de productores agropecuarios San Rafael*. (Tesis para optar el Título de Magister en Administración de Empresas), Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ciencias Administrativas, Ecuador. 2020. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20694/1/CD%2010199.pdf>

RAEI, Ehsam, [et al.]. A deep learning image segmentation model for agricultural irrigation system classification *Computer and electronics in agriculture*, 198, July 2022. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169922002940>

REKALDE, Itziar; VIZCARRA, María Teresa; MACAZAGA, Ana María. La observación como estrategia de investigación para construir contextos de aprendizaje y fomentar procesos participativos. *Educación XX1* [en línea] 2014, número 1. ISSN: 1139-613X [Fecha de consulta: 23 de junio de 2023] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/706/70629509009.pdf>

RUITON, Jesús, HIDALGO, Hildebrando, y FIGUEROA, Armando. La inversión pública en riego y el crecimiento económico del sector agrario en Perú. *Revista Journal Gobierno y Gestión Pública*, 5. Semestre 2018-1. ISSN: 2414-4991. <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/RevistaGobiernoyG/article/view/2337/2789>

SALMÁN, Ahmed. Smart Irrigation System, *Research Gate*, Egypt. Mayo 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/360614815_Smart_Irrigation_System

OSMA-MOLINA, Johan Jair; VILLAMIZAR-MONAR, Dixon Giovanny. Diseño de un sistema IoT para la medición de temperatura, humedad y luz en huertas urbanas. 2020. Disponible en:

<https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1349>

SAMI, Maira [et al.]. A deep learning-based sensor modeling for smart irrigation system. *Agronomy*, 12 (1), 212. 6 November 2021. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/212>

SHAFI, Uferah. Precision agriculture techniques and practices: from considerations to applications. *Sensors*, 19 (7), pp. 3796. September 2019. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/17/3796>

SUGANYA, E. [et al.]. IoT in agriculture investigation on plant diseases and nutrient level using image analysis techniques. India. 2019. *ScienceDirect*, pp. 119-130. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128173565000073>

TALAVIYA, Tanha. [et al.]. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimization of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4. 2020, pp. 58-73. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258972172030012X>

TACE, Youness, [et al.]. Smart Irrigation System based on IoT and machine learning. *Energy Reports*, 8 (9), pp. 1025-1036. November 2022. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722013543?via%3Dihub>

TOVAR, Yurley T.; CALVO, Andrés F.; BEJARANO, Arley. Desarrollo de un sistema de clasificación de imágenes digitales para medir la humedad en granos de café. *Información tecnológica*, 2022, vol. 33, no 3, p. 117-128. Disponible en:

VELMURUGAN, S. An IoT based Smart irrigation system using Soil Moisture and weather prediction. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8 (7). Junio 2020. India. ISSN: 2278-0181. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3597146

VILCHEZ, Hans. *Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado para una hectárea de cultivo de durazno en el distrito de la Isla-Asia, Cañete*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico), Lima, Perú. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería. 2020. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3354>

ZAHOOR, Syed. [et al.]. Improving water use efficiency in agronomic crop productions. *Agronomic crops*, pp. 13-29. November 2019. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-32-9783-8_2

ZHICHKIN, K. [et al.]. Cadastral appraisal of lands: agriculture aspect. Paper – Open Access. 2020. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/421/2/022066/meta>

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Operacionalización de variables

Variable(s)	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de medición
Sistema de riego por goteo basado en procesamiento de imágenes	El riego por goteo es aplicado directamente en el suelo. El agua moja únicamente el área donde se ubica la planta, lo que significa un gran ahorro de este recurso. El mecanismo de bombeo es en base a unos goteros que trabajan con presión, esta puede variar de acuerdo a la fuente de agua (Peralta y Urbina, 2022)	Se registrarán los momentos y áreas de distribución de los goteros para medir el riego por goteo en el suelo. La eficiencia del recurso hídrico se evaluará comparando el consumo de un sistema de riego convencional o por surco. Además, se evaluará el monitoreo del estado del suelo, se observará y registrará la distribución del agua para analizar su impacto en la uniformidad y eficiencia del recurso hídrico.	Desarrollo y tecnología de sensores	Porcentaje de humedad	De razón
				Temperatura del ambiente	De razón
			Avances y desarrollos en procesamiento de imágenes	Escala de grises	De razón
				Histograma de imágenes	De razón
Eficiencia hídrica	La eficiencia del recurso hídrico se refiere al valor de agua consumido en litros por hectárea que se deriva de un proceso de riego aplicando una técnica específica donde se aprovecha el uso del agua al máximo y se obtiene mayor ahorro en el recurso hídrico.	La eficiencia del recurso hídrico se basará en la medición cuantitativa de la relación. Entre la cantidad de agua disponible y la cantidad de agua aplicada en el riego, se recopilarán datos específicos sobre los recursos empleados, como tierra, agua, nutrientes y mano de obra, y se registrará la eficiencia del	Valor de consumo de agua	Eficiencia del uso de agua	De razón
				Aplicación de técnicas intensivas en el uso de recursos	Técnicas de irrigación

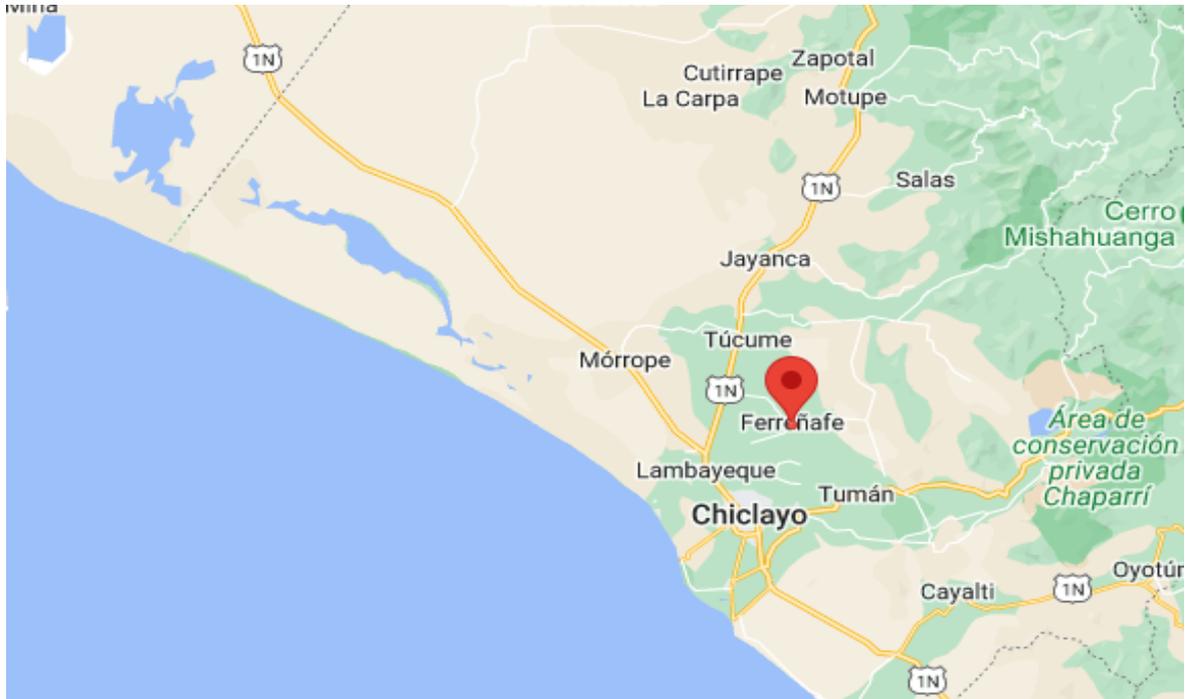
	<p>En otras palabras, la relación entre el agua disponible y la cantidad de agua aplicada en el riego, se denomina eficiencia de riego (Quijía, 2020).</p>	<p>recurso hídrico obtenida en términos de porcentajes y litros, se podrá evaluar y comparar el valor de porcentaje de agua consumida con la técnica de riego actual (riego por surco), y la técnica de riego propuesta, (goteo)</p>			
--	--	--	--	--	--

Anexo 2. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Problema General ¿Cuál es el impacto del Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023?	Objetivo General Mejorar la eficiencia hídrica a través de un sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes en el cultivo de palta Hass en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023.	Hipótesis General El Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes mejora la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023.	Primera Variable: SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO CON PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	Desarrollo y tecnología de sensores	Porcentaje de humedad Temperatura del ambiente	De razón
				Avances y desarrollos en procesamiento de imágenes	Escala de grises Histograma de imágenes	
Problemas Específicos ¿Cómo impacta el Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023? ¿Cómo impacta el Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la aplicación de técnicas intensivas en el uso de recursos de los cultivos en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023?	Objetivos Específicos Diagnosticar la situación actual del sistema de riego en el cultivo de palta Hass en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023. Implementar un Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes para mejorar la eficiencia hídrica en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023.	Hipótesis Específica El Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes mejora el valor de consumo de agua en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023. El Sistema de riego por goteo con procesamiento de imágenes mejora la aplicación de técnicas intensivas en el uso de recursos de los cultivos en el centro poblado Santa Clara Ferreñafe Lambayeque, 2023.	Segunda Variable: EFICIENCIA HÍDRICA	Valor de consumo de agua	Eficiencia hídrica Eficiencia del uso de agua	
				Aplicación de técnicas intensivas en el uso de recursos	Técnicas de irrigación	

Anexo 3. Datos generales

En el departamento de Lambayeque provincia de Ferreñafe en el centro poblado Santa Clara.



Fuente: Google maps

Anexo 4. Programación de riego del cultivo en todas sus etapas.

Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
19-Ago	2	Ini	0	1	100	29	8.2	0	0	11.7	0.68
23-Ago	6	Ini	0.1	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.35
27-Ago	10	Ini	0.1	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.35
31-Ago	14	Ini	0	1	100	30	8.5	0	0	12.2	0.35
4 Sep	18	Ini	0	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.35
8 Sep	22	Ini	0	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.35
11 Sep	25	Ini	0	1	100	23	6.4	0	0	9.2	0.36
15 Sep	29	Ini	0	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.35
19 Sep	33	Ini	0	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.35
22 Sep	36	Ini	0	1	100	24	6.6	0	0	9.5	0.37
25 Sep	39	Ini	0	1	100	24	6.7	0	0	9.6	0.37
28 Sep	42	Ini	0	1	100	23	6.5	0	0	9.3	0.36
1-Oct	45	Ini	0	1	100	24	6.8	0	0	9.7	0.37
4-Oct	48	Ini	0	1	100	24	6.8	0	0	9.7	0.38
7-Oct	51	Des	0.2	1	100	24	6.8	0	0	9.7	0.38
10-Oct	54	Des	0	1	100	25	7	0	0	10	0.38
13-Oct	57	Des	0.2	1	100	26	7.3	0	0	10.4	0.4
16-Oct	60	Des	0	1	100	27	7.5	0	0	10.7	0.41
19-Oct	63	Des	0	1	100	27	7.5	0	0	10.7	0.41
22-Oct	66	Des	0	1	100	28	7.7	0	0	11	0.43
25-Oct	69	Des	0	1	100	28	7.9	0	0	11.2	0.43
28-Oct	72	Des	0	1	100	27	7.7	0	0	11	0.42
31-Oct	75	Des	0	1	100	28	7.9	0	0	11.2	0.43
3-Nov	78	Des	0.2	1	100	29	8.1	0	0	11.6	0.45
6-Nov	81	Des	0	1	100	30	8.3	0	0	11.8	0.46
9-Nov	84	Des	0	1	100	30	8.3	0	0	11.8	0.46
12-Nov	87	Des	0	1	100	30	8.5	0	0	12.2	0.47
15-Nov	90	Des	0	1	100	31	8.7	0	0	12.4	0.48
18-Nov	93	Des	0	1	100	30	8.5	0	0	12.1	0.47
21-Nov	96	Des	0	1	100	32	8.9	0	0	12.7	0.49
24-Nov	99	Des	0	1	100	33	9.2	0	0	13.1	0.51
27-Nov	102	Des	0.2	1	100	33	9.2	0	0	13.1	0.51
30-Nov	105	Des	0	1	100	33	9.4	0	0	13.4	0.52
3-Dic	108	Des	0.1	1	100	35	9.9	0	0	14.2	0.55
6-Dic	111	Med	0	1	100	36	10	0	0	14.3	0.55
9-Dic	114	Med	0	1	100	36	10	0	0	14.3	0.55
12-Dic	117	Med	0	1	100	37	10.3	0	0	14.8	0.57
15-Dic	120	Med	0	1	100	37	10.5	0	0	15	0.58

Fuente: Software Cropwat 8.0

18-Dic	123	Med	0	1	100	37	10.4	0	0	14.9	0.57
21-Dic	126	Med	0	1	100	38	10.5	0	0	15.1	0.58
24-Dic	129	Med	0	1	100	37	10.3	0	0	14.7	0.57
27-Dic	132	Med	0.4	1	100	37	10.3	0	0	14.7	0.57
30-Dic	135	Med	0	1	100	38	10.7	0	0	15.3	0.59
2-Ene	138	Med	0	1	100	39	10.8	0	0	15.5	0.6
5-Ene	141	Med	0	1	100	39	10.9	0	0	15.6	0.6
8-Ene	144	Med	0	1	100	36	10	0	0	14.4	0.55
11-Ene	147	Med	0	1	100	39	11	0	0	15.7	0.6
14-Ene	150	Med	0	1	100	35	9.9	0	0	14.2	0.55
17-Ene	153	Med	1.2	1	100	35	9.9	0	0	14.2	0.55
20-Ene	156	Med	0	1	100	40	11.1	0	0	15.9	0.61
23-Ene	159	Med	0.9	1	100	36	10.1	0	0	14.5	0.56
26-Ene	162	Med	0	1	100	39	11	0	0	15.8	0.61
29-Ene	165	Med	0	1	100	39	11	0	0	15.8	0.61
1-Feb	168	Med	0	1	100	39	11	0	0	15.7	0.61
4-Feb	171	Med	0	1	100	38	10.6	0	0	15.1	0.58
7-Feb	174	Med	0.4	1	100	38	10.6	0	0	15.1	0.58
10-Feb	177	Med	0	1	100	39	11	0	0	15.7	0.6
13-Feb	180	Med	0	1	100	40	11.3	0	0	16.1	0.62
16-Feb	183	Fin	0	1	100	40	11.3	0	0	16.1	0.62
19-Feb	186	Fin	0	1	100	40	11.3	0	0	16.1	0.62
22-Feb	189	Fin	0	1	100	41	11.5	0	0	16.4	0.63
25-Feb	192	Fin	0	1	100	41	11.6	0	0	16.6	0.64
28-Feb	195	Fin	0	1	100	39	11	0	0	15.7	0.61
3-Mar	198	Fin	1.6	1	100	36	10.2	0	0	14.6	0.56
6-Mar	201	Fin	0	1	100	42	11.8	0	0	16.8	0.65
9-Mar	204	Fin	0	1	100	42	11.8	0	0	16.8	0.65
12-Mar	207	Fin	0	1	100	42	11.8	0	0	16.9	0.65
15-Mar	210	Fin	0	1	100	42	11.9	0	0	17	0.66
18-Mar	213	Fin	0	1	100	35	9.7	0	0	13.9	0.54
21-Mar	216	Fin	0	1	100	42	11.8	0	0	16.9	0.65
24-Mar	219	Fin	0	1	100	35	9.9	0	0	14.2	0.55
27-Mar	222	Fin	1.7	1	100	35	9.9	0	0	14.2	0.55
30-Mar	Fin	Fin	0	1	0	28					

Fuente: Software Cropwat 8.0

Anexo 5. Requerimiento de agua del cultivo.

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	2	Inic	0.6	2.12	6.4	0	6.4
Ago	3	Inic	0.6	2.13	23.5	0.1	23.4
Sep	1	Inic	0.6	2.15	21.5	0.2	21.2
Sep	2	Inic	0.6	2.16	21.6	0.3	21.2
Sep	3	Inic	0.6	2.24	22.4	0.3	22
Oct	1	Des	0.6	2.33	23.3	0.3	22.9
Oct	2	Des	0.62	2.49	24.9	0.3	24.6
Oct	3	Des	0.65	2.62	28.8	0.3	28.5
Nov	1	Des	0.68	2.76	27.6	0.3	27.2
Nov	2	Des	0.7	2.89	28.9	0.3	28.6
Nov	3	Des	0.72	3.12	31.2	0.3	30.9
Dic	1	Med	0.75	3.34	33.4	0.2	33.2
Dic	2	Med	0.75	3.49	34.9	0.1	34.8
Dic	3	Med	0.75	3.56	39.2	0.7	38.4
Ene	1	Med	0.75	3.63	36.3	1.7	34.6
Ene	2	Med	0.75	3.71	37.1	2.4	34.7
Ene	3	Med	0.75	3.68	40.5	1.8	38.7
Feb	1	Med	0.75	3.65	36.5	0.7	35.8
Feb	2	Fin	0.78	3.77	37.7	0.1	37.6
Feb	3	Fin	0.79	3.87	31	1.3	29.7
Mar	1	Fin	0.79	3.92	39.2	3.1	36.1
Mar	2	Fin	0.79	3.96	39.6	4.3	35.3
Mar	3	Fin	0.79	3.87	38.7	3	35.4
					704	22.5	681.2

Fuente: Software Cropwat 8.0

Anexo 6. Valores considerados normales de un análisis de aguas para riego.

Según los estudios realizados por (Monge, 2017), refiere que el agua será de buena calidad para el riego agrícola cuando, cumpliendo con sus funciones básicas hacia la planta de manera que garantice un rendimiento óptimo, no produzca efectos perjudiciales al suelo.

Parámetros	Simbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego
SALINIDAD			
Contenido en sales			
Conductividad eléctrica	CE _a	dS/m	0 – 3
Total sólidos en solución	TSD	mg/l	0 – 2000
Cationes y aniones			
Calcio	Ca ²⁺	meq/l	0 – 20
Magnesio	Mg ²⁺	meq/l	0 – 5
Sodio	Na ⁺	meq/l	0 – 40
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meq/l	0 – 0'1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 – 10
Cloro	Cl ⁻	meq/l	0 – 30
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq/l	0 – 20
NUTRIENTES			
Nitrato-nitrógeno	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10
Amonio-nitrógeno	NO ₄ -N	mg/l	0 – 5
Fosfato-fósforo	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2
Potasio	K ⁺	mg/l	0 – 2
VARIOS			
Boro	B	mg/l	0 – 2
Acidez o basicidad	pH	1-14	6 – 8'5
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/l	0 - 15

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)

Anexo 7. Adaptación de cultivos al tipo de riego según FAO.

Inundación	Se adapta mejor a los cultivos que permiten la inundación total (por ejemplo: arroz) y a aquellos cuyo espaciamiento entre hileras posibilita la construcción del camellón y el surco.
Aspersión	Se adapta mejor a aquellos cultivos que ocupan toda el área del terreno o que poseen espaciamiento pequeño, cuyos sistemas radiculares ocupan todo el volumen de suelo sembrado. Ejemplo: pastos. Es poco eficiente para aquellos cultivos sembrados en espalderas o ramadas, porque estas estructuras no permiten la distribución uniforme del agua. No es un sistema adecuado para los cultivos altos y frondosos.
Micro aspersión	Se adapta mejor a aquellos cultivos de espaciamiento amplio, cuyos sistemas radiculares no ocupan todo el volumen de suelo y, por lo tanto, el riego localizado es más eficiente. Ejemplo: frutales arbóreos o no arbóreos, güisquil, loroco, etc.
Goteo	Se adapta mejor a aquellos cultivos de espaciamiento amplio, cuyos sistemas radiculares no ocupan todo el volumen de suelo y, por lo tanto, el riego localizado es más eficiente. La forma y tipo de crecimiento de los cultivos, sean altos y frondosos o bajos y de escaso follaje, no tiene importancia para el riego por goteo. Donde el agua es escasa y el diferencial de altura pequeño, es mejor que el sistema de micro-aspersión.

*Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y
Agricultura (FAO)*

Anexo 8: Adaptación de las características del terreno según FAO.

Inundación	Se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos, normalmente aluviones a las orillas de ríos y quebradas (vegas). En áreas altas y con más pendiente, las dificultades para conducir y distribuir adecuadamente el agua son muy grandes. Además, los riesgos de erosión son elevados.
Aspersión	Se adapta mejor a terrenos planos o semi planos. A medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que causa el impacto de las gotas. Además, a medida que aumenta la pendiente, la distribución del agua es cada vez más desigual, formando un círculo de menor radio del lado superior del aspersor, donde se aplica más agua y con más presión. En áreas con pendiente se recomienda utilizar aspersores que producen gotas pequeñas y que requieren menos carga o presión.
Micro aspersión y goteo	Por igual, ambos sistemas se adaptan bien a terrenos de cualquier pendiente.

*Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y
Agricultura (FAO)*

Anexo 9. Diferencial de altura (cota) para distribución del agua por gravedad según FAO.

Inundación	Casi no necesita altura, solamente la suficiente para que el agua fluya de la fuente hasta la parte más elevada del terreno y de ésta a toda la superficie. Si la altura es reducida es mejor, porque es más fácil de manejar y causa menos deterioro.
Aspersión	Requiere bastante altura para funcionar bien por gravedad (más o menos unos 14 m. de cota por cada aspersor). Si no hay suficiente presión, el rayo de mojadura del aparato es más pequeño y la formación y distribución de las gotas muy desigual.
Micro aspersión	Requiere menos altura que la aspersión común, pero más altura que el goteo.
Goteo	Requiere de poca altura entre la fuente de agua y los puntos de distribución (2 m. son suficientes para lograr un buen goteo).

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)

Anexo 10. Eficiencia de riego según FAO.

Inundación	40 - 65%
Aspersión	80 - 85%
Micro aspersión	85 - 90%
Goteo	90 - 95%

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)

Anexo 11. Riesgo ambiental según FAO.

Inundación	Normalmente, las cantidades de agua aplicadas por inundación son excesivas y contribuyen a lixiviar los nutrientes más solubles, principalmente en suelos de textura leve, de francos a más arenosos. Como en las zonas de riego por inundación normalmente la capa freática está cerca de la superficie o por encima de la misma, el riesgo de contaminación por iones, como nitratos y sulfatos, es relativamente alto, principalmente si se utilizan elevadas dosis de fertilizantes en los cultivos. Por otro lado, si el agua es de mala calidad, salina o contaminada con metales pesados, los problemas pueden ser graves para el suelo, por la cantidad de agua utilizada. La construcción de surcos y camellones produce transporte de suelo, lo cual favorece el proceso erosivo. Por las dificultades y riesgos en el manejo del suelo y agua, el riego por inundación debe ser evitado en zonas de laderas.
Aspersión	La aspersión funciona como si fuera una lluvia natural. Las gotas aspergidas chocando contra la superficie del suelo pueden producir erosión. De ser posible, el riego por aspersión debe ser evitado en zonas de laderas o utilizado con mucho cuidado, protegiéndose bien el suelo con cobertura vegetal y utilizando aspersores de baja energía, que producen gotas más pequeñas (Tipo Bowler), bien regulados y mantenidos.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)

Micro aspersión	Como las gotas producidas son pequeñas, no hay riesgos de deterioro por erosión, principalmente si el suelo en el perímetro mojado está cubierto. Como la mojadura es relativamente lenta y localizada es más difícil que se lixivien los nutrientes solubles. Si el agua utilizada está contaminada, el volumen mojado y contaminado es reducido.
Goteo	El goteo aparentemente no produce ningún proceso de deterioro. La energía del agua que llega al suelo es insuficiente para producir erosión. Como la mojadura es muy lenta y controlada es más difícil que se lixivien los nutrientes solubles. Si el agua utilizada está contaminada, el volumen mojado y contaminado es mínimo.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)

Anexo 12. Dispersión de plagas y enfermedades según FAO.

Inundación	El agua corriendo a través del surco puede transportar diferentes patógenos o semillas de malezas. Es reconocido el efecto de la dispersión de patógenos tales como Rhizoctonia, Pythium y Fusarium en surcos de riego, causando “muerte caminante” de las plantas. Los nemátodos igualmente pueden ser dispersados a través del agua que inunda el terreno. De la misma manera, si el suelo permanece saturado de agua por demasiado tiempo puede ser fatal para ciertos cultivos susceptibles a hongos del suelo.
Aspersión	La salpicadura de las gotas de agua contra el suelo y su depósito sobre los tallos y hojas de los cultivos pueden transportar ciertos patógenos, así como desde plantas enfermas hacia otras sanas.
Micro aspersión y goteo	Como el riego es localizado y el agua no entra en contacto con la parte aérea de las plantas, el peligro de dispersión de plagas o enfermedades por el área de mojadura es menor. Además, la cantidad de agua puede ser controlada y evitarse así el exceso de humedad en el suelo.

*Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y
Agricultura (FAO)*

Anexo 13. Utilización de mano de obra según FAO.

Inundación	Los requerimientos de mano de obra para la construcción y mantenimiento de canales suelen ser altos. Igualmente, en la preparación del terreno y la construcción de camellones y surcos, aunque esta labor puede ser realizada con la ayuda de tracción animal. En la operación del riego, se requiere de mano de obra permanente para las operaciones de distribución y control del agua.
Aspersión	El mayor uso de mano de obra está en la operación del sistema y, más específicamente, en la rotación de los equipos en el terreno en cada turno de riego. En todo caso, esta labor es menos ardua que la requerida para el manejo de los sistemas de inundación, principalmente por surcos.
Micro aspersión y goteo	Como se trata de sistemas fijos, gran parte de la mano de obra es utilizada en la instalación del equipo. La operación consiste en una visita diaria para inspeccionar el sistema y, en particular, el funcionamiento de los micro aspersores o goteros.

*Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y
Agricultura (FAO)*

Anexo 14. Análisis aproximado del comportamiento de diferentes sistemas de riego según algunos indicadores relacionados a los atributos de sostenibilidad del sistema de producción según FAO.

Indicadores de sostenibilidad	Sistema de Riego		
	Inundación por surcos	Aspersión	Goteo
Inversión inicial	Baja	Mediana	Alta
Utilización de mano de obra en la operación	Alta	Mediana	Baja
Riesgo de erosión en zonas de laderas	Alto	Mediano	Bajo
Necesidad de energía para distribuir el agua	Baja	Alta	Mediana
Consumo de agua	Alto	Mediano	Bajo
Control de consumo de agua	Alto	Bajo	Bajo
Transmisión de enfermedades	Alta	Alta	Baja
Posibilidades de generar conflicto por el agua	Alto	Mediano	Bajo
Riesgo de ineficiencia energética	Alto	Mediano	Bajo
Posibilidades de consumo de plaguicidas	Alta	Alta	Baja

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)

Anexo 15. Coeficiente del cultivo de palta según (Salgado y Bozzolo, 1997)

Meses ¹	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Caso	A	A	A	B	B	B	B	B
U_z	-----medio-----o-----suave-----							
HR_{MEDIA}	-----medio alto-----o-----medio bajo-----o-----medio alto-----							
K_B	0,78	0,78	0,83	0,70	0,60	0,60	0,70	0,80
$E_{R,MM/MES}$	67,00	103,30	147,90	201,30	196,70	148,10	131,50	80,00
$ET_{R,MM/MES}$	52,26	80,57	122,76	140,91	118,02	88,86	92,05	64,00

Fuente: https://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/SalgadoEduardo1997.pdf