

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

Diseño, instalación y operación del sistema de riego por goteo en el cultivo de palto en la empresa Agrícola Cerro Prieto, Pacanga, Chepén – La Libertad.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR

Bach. Jose Miguel Mejia Gavidia

ASESOR

Ing. M.Sc. Víctor Gustavo Hernández Jiménez

Lambayeque – Perú

2023

Diseño, instalación y operación del sistema de riego por goteo en el cultivo de palto en la empresa Agrícola Cerro Prieto, Pacanga, Chepén – La Libertad.

POR:

Bach. Jose Miguel Mejia Gavidia

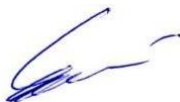
Presentada a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR:



Ing. M.Sc. Víctor Gustavo Hernández Jiménez
Asesor



Ing. M.Sc. Eduardo Deza León
Presidente del Jurado



Ing. M.Sc. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Secretario del Jurado



Ing. Henry Dante Sánchez Díaz
Vocal del Jurado

LAMBAYEQUE – 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 011-2023-D-FAG

En la ciudad de Lambayeque a los once días del mes de agosto del año dos mil veintitrés, siendo las once de la mañana, se reunieron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía los Miembros de Jurado evaluador de la tesis titulada: **"DISEÑO, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE PALTO EN LA EMPRESA AGRÍCOLA CERRO PRIETO, PACANGA, CHEPEN - LA LIBERTAD"**, designados por Decreto N° 317-2021-VIRTUAL-D-FAG del 29 de diciembre del 2021, con la finalidad de evaluar y calificar la Sustentación de la Tesis antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

Ing. M.Sc. Eduardo Exequiel Deza León
Ing. M.Sc. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Ing. Henry Dante Sánchez Díaz
Ing. Mg. Víctor Gustavo Hernández Jiménez

Presidente
Secretario
Vocal
Patrocinador

El acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 113-2023-D-FAG, con fecha 03 de agosto del 2023.

La tesis fue presentada y sustentada por el Bachiller **JOSÉ MIGUEL MEJÍA GAVIDIA**, tuvo una duración...85... de minutos. Después de la sustentación y absueltas las preguntas y observaciones de los Miembros de Jurado, se procedió a la calificación respectiva otorgándole el calificativo de 17.5 en la escala vigesimal, con mención

MUY BUENO

Por lo que queda APTO para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo de acuerdo con la Ley Universitaria N° 30220 y la Normatividad vigente de la Facultad de Agronomía y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:25 pm, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad el presente acto con las firmas de los Miembros de Jurado.

Ing. M.Sc. Eduardo Exequiel Deza León
Presidente

Ing. M.Sc. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Secretario

Ing. Henry Dante Sánchez Díaz
Vocal

Ing. Mg. Víctor Gustavo Hernández Jiménez
Patrocinador

TESIS DISEÑO, INSTALACION Y OPERACION DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE PALTA

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

9%

2

www.intagri.com

Fuente de Internet

1%

3

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

vsip.info

Fuente de Internet

1%

5

www.avocadosource.com

Fuente de Internet

<1%

6

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1%

7

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

<1%

8

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%

Ing. M.Sc. Víctor Gustavo Hernández Jiménez
Patrocinador.



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

YO, Ing. M.Sc. Víctor Gustavo Hernández Jiménez, Asesor de la tesis de **José Miguel Mejía Gavidia** Titulada: **Diseño, instalación y operación del sistema de riego por goteo en el cultivo de palto en la empresa Agrícola Cerro Prieto, Pacanga, Chepén – La Libertad.**, luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 18 % verificable en el reporte de similitud del programa turnitin

EL suscrito analizo dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, A me leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencia establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Lambayeque 20 de marzo 2024



Ing. M.Sc. Víctor Gustavo Hernández Jiménez
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres: Gaspar Mejía Rojas y Lucila Gavidia Vera; quienes, con su amor incondicional, esfuerzo y sacrificio me han permitido lograr uno de mis más grandes objetivos.

A mi hijo y esposa por ser fuente de inspiración para seguir creciendo en lo personal y profesional.

Mejía Gavidia José Miguel

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios, por brindarme vida, salud y voluntad para seguir creciendo como profesional.

Expreso mi profundo agradecimiento al ingeniero Alfredo Chan Way Vargas, gerente agrícola de la empresa Agrícola Cerro Prieto por brindarme todas las facilidades para desarrollar mi tesis en las instalaciones de la empresa.

Por último, expreso mi más sincero agradecimiento a los ingenieros José Manrique Laura y Javier Pasapera Guevara por brindarme el apoyo durante el desarrollo del presente proyecto.

Mejía Gavidia José Miguel

RESUMEN

El proyecto se realizó durante el año 2022 en el fundo de la empresa AGRÍCOLA CERRO PRIETO S.A., distrito Pacanga, provincia Chepén, región La Libertad, con el objetivo de diseñar, instalar y operar un sistema de riego por goteo en el cultivo de palto. Se empleó una investigación aplicada, descriptiva y propositiva. Este proyecto se refiere a la instalación de un sistema de riego por goteo para abastecer del recurso hídrico a 226 has. del cultivo de palto. Contempla el balance hídrico del cultivo de palto resultando el uso de 15,162 m³/día; diseño agronómico con un marco de plantación de 7m x 2m y una densidad de plantación de 714 plantas por ha.; además contempla el diseño geométrico con válvulas típicas de 4 has.; también se muestra el diseño hidráulico, instalación del cabezal de filtrado (filtro de grava, válvulas de seguridad y operación e hidrómetro), instalación de un sistema de riego por goteo y fertilización. La distribución del agua es a través de una red de tuberías de PVC y la operación en el campo es a través de válvulas hidráulicas que son operadas mediante un controlador de riego de forma automatizada. El diseño contempla el más alto coeficiente de uniformidad (por encima de 90%) a fin de contar con un sistema de riego y fertilización óptimo para el cultivo de palto; en el cual, se instalaron mangueras auto compensadas con emisores distanciados a 0.4 m. y con una descarga de 1.6 lph.; además, se determinó el presupuesto del sistema de riego y su costo por hectárea, resultado un valor de USD/ha 6,549; también, se realizó la regulación de presiones en filtrado y en campo; además, se realizó la evaluación de la descarga del gotero y del coeficiente de uniformidad en cada una de las válvulas, dando como resultado valores dentro del rango óptimo.

Palabras clave: Sistema de riego, Cultivo palto, Diseño hidráulico, Coeficiente de uniformidad.

SUMMARY

The project was carried out during the year 2022 on the farm of the company AGRÍCOLA CERRO PRIETO S.A., Pacanga district, Chepén province, La Libertad region, with the objective of designing, installing and operating a drip irrigation system in the cultivation of avocado. An applied, descriptive and purposeful research was used. This project refers to the installation of a drip irrigation system to supply water resources to 226 hectares. of avocado cultivation. Consider the water balance of the avocado crop, resulting in the use of 15,162 m³/day; agronomic design with a planting framework of 7m x 2m and a planting density of 714 plants per ha.; It also contemplates the geometric design with typical valves of 4 has.; It also shows the hydraulic design, installation of the filter head (gravel filter, safety and operation valves, and hydrometer), installation of a drip irrigation system, and fertilization. The distribution of the water is through a network of PVC pipes and the operation in the field is through hydraulic valves that are operated by an irrigation controller in an automated way. The design contemplates the highest coefficient of uniformity (above 90%) in order to have an optimal irrigation and fertilization system for avocado cultivation; in which self-compensated hoses were installed with emitters 0.4 m apart. and with a discharge of 1.6 lph.; In addition, the budget of the irrigation system and its cost per hectare were determined, resulting in a value of USD/ha 6,549; also, the pressure regulation in filtrate and in the field was carried out; In addition, the evaluation of the dropper discharge and the coefficient of uniformity in each of the valves was carried out, resulting in values within the optimal range.

Keywords: Irrigation system, Avocado cultivation, Hydraulic design, Coefficient of uniformity.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	18
DISEÑO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Base teórica	22
2.2.1. Sistemas de riego	22
2.2.2. Riego por goteo.....	22
2.2.2.1. Ventajas agronómicas.	23
2.2.2.2. Ventajas económicas y de manejo	24
2.2.2.3. Inconvenientes.....	25
2.2.2.4. Emisor de goteo.....	26
2.2.2.5. Tubería matriz o principal	26
2.2.2.6. Tubería secundaria	26
2.2.2.7. Tubería terciaria	26
2.2.2.8. Laterales de riego.	26
2.2.2.9. Unidad de riego.	26
2.2.2.10. Sub-unidad de riego	27
2.2.2.11. Turno de riego.	27
2.2.2.12. Coeficiente de uniformidad (CU).....	27
2.2.3. Evaluación de uniformidad de riego	27
2.2.3.1. Uniformidad en la unidad de riego.....	28

	10
2.2.4. Proceso de evapotranspiración.....	29
2.2.4.1. Evaporación.....	29
2.2.4.2. Transpiración.....	30
2.2.4.3. Evapotranspiración.....	30
2.2.5. Coeficiente de cultivo	30
2.2.6. Diseño agronómico	31
2.2.7. Diseño hidráulico	31
2.2.8. EL riego y su impacto en el ambiente	32
DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
3.1. Datos básicos	34
3.1.1. Población de estudio	34
3.1.2. Muestra de estudio	34
3.1.3. Ubicación	34
3.1.4. Levantamiento topográfico	35
3.1.5. Condiciones climáticas	35
3.1.6. Oferta de agua	35
3.1.7. Calidad de agua	35
3.1.8. Suelo	36
3.1.9. Energía	36
3.2. Metodología para el balance hídrico	36
3.3. Esquematización del proyecto.....	37

3.4. Metodología para el diseño agronómico.....	37
3.5. Metodología para el diseño geométrico	38
3.6. Metodología para el diseño hidráulico	38
3.7. Metodología para la evaluación del diagnóstico del sistema de riego	38
3.8. Evaluación del porcentaje de coeficiente de uniformidad	39
RESULTADOS	40
4.1. Balance hídrico	40
4.2. Diseño agronómico	43
4.2.1. Distribución y selección de emisores.....	44
4.2.2. Distribución y selección de laterales de riego.....	44
4.2.3. Descarga del sistema de riego.....	44
4.2.4. Tiempo de riego	45
4.2.5. Tiempo de riego por turno	46
4.2.6. Determinación de la cantidad de turnos de riego.....	47
4.3. Diseño geométrico	51
4.4. Diseño hidráulico.....	54
4.4.1. Criterio de velocidad.....	54
4.4.2. Criterio de seguridad.....	55
4.4.3. Cálculo del lateral de riego	55
4.4.4. Selección y cálculo de la válvula hidráulica	57
4.4.5. Dimensionamiento de tubería porta regante	59
4.4.6. Cálculo de tuberías aductoradas	64

4.4.7. Cálculo de la pérdida de cargas por fricción en tubería aductora	65
4.4.8. Cálculo de tubería matriz	67
4.4.9. Identificación de turnos críticos	69
4.4.10. Diseño y selección de los equipos del cabezal de riego.....	79
4.4.10.1. Selección y cálculo de filtros	79
4.4.10.2. Selección y cálculo del medidor de caudal	82
4.4.10.3. Selección y cálculo de la válvula reguladora y sostenedora de presión	83
4.5. Diseño y cálculo de los equipos de fertilización	83
4.5.1. Cálculo y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de fertilizante	83
4.5.2. Cálculo del sistema de inyección del fertilizante.....	84
4.5.3. Cálculo del sistema de dilución o pre mezcla del fertilizante	86
4.6. Diseño de automatización	87
4.6.1. Controlador de riego	87
4.6.2. Interface RF + antena maestra	88
4.6.3. RTU RF Modular	88
4.7. Operación del sistema de riego en campo	91
4.7.1. Regulación de presiones	92
4.7.1.1. Regulación de presión del Piloto Sostenedor	92
4.7.1.2. Regulación de presión del Piloto Regulador	92
4.7.1.3. Regulación de presiones campo	93

4.7.1.4. Evaluación del diagnóstico del sistema de riego.....	96
4.8. Análisis económico	101
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS	106
ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen del balance hídrico	43
Tabla 2 Comparativo de jornadas de riego	46
Tabla 3 Cuadro de detalles del sistema de riego módulo 7	48
Tabla 4 Cuadro de detalles del sistema de riego módulo 8.....	49
Tabla 5 Parámetros del diseño agronómico	50
Tabla 6 Pérdidas de presión en la válvula 3” - L	58
Tabla 7 Diámetros y longitudes de tuberías con presión nominal 5 bar (PN 5)	60
Tabla 8 Diámetros y longitudes de tuberías con presión nominal 7.5 bar (PN 7.5)	61
Tabla 9 Cálculo de diámetros de tubería porta regante.....	61
Tabla 10 Requerimiento de presión antes de válvula hidráulica.....	64
Tabla 11 Cálculo de tuberías aductoras.	65
Tabla 12 Cálculo de pérdidas por fricción en tubería aductora	66
Tabla 13 Cálculo de presión disponible a la entrada del filtrado.....	66
Tabla 14 Cálculo de presión disponible a la salida del filtrado.	67
Tabla 15 Cantidad de tubería matriz según diámetro – Módulo 7.....	68
Tabla 16 Cantidad de tubería matriz según diámetro – Módulo 8.....	69
Tabla 17 Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías matriz de turno crítico por presión.	71
Tabla 18 Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías matriz de turno crítico por caudal.....	74
Tabla 19 Resumen de presiones en el turno crítico por presión (módulo 7, turno 4)	78

Tabla 20 Resumen de presiones en el turno crítico por caudal (módulo 8, turno 1)	78
Tabla 21 Pérdidas de presión en filtros de graba de 48”	81
Tabla 22 Cálculo de filtros de graba	81
Tabla 23 Cálculo de los tanques de almacenamiento:	83
Tabla 24 Semana con mayor demanda de unidades de fertilizante por hectárea	84
Tabla 25 Cantidades de fertilizante por producto comercial.	85
Tabla 26 Detalles de la selección de electrobombas de inyección.....	86
Tabla 27 Detalle y cantidad de RTU - Módulo 7	89
Tabla 28 Detalle y cantidad de RTU - Módulo 8.....	89
Tabla 29 Operación del sistema de riego módulo 7	91
Tabla 30 Operación del sistema de riego módulo 8.....	91
Tabla 31 Calibración en válvula sostenedora – reguladora de presión.....	92
Tabla 32 Regulación de presiones campo – módulo 7.....	94
Tabla 33 Regulación de presiones campo – módulo 8.....	95
Tabla 34 Valorización de componentes del sistema de riego.	102
Tabla 35 Resumen de costos	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Selección de elementos para pruebas	28
Figura 2 Mapa de ubicación del proyecto.....	34
Figura 3 Esquema hidráulico del proyecto	37
Figura 4 Montaje de un caudalímetro de $\frac{3}{4}$ " para evaluación de la descarga de gotero.	39
Figura 5 Registro de evapotranspiración potencial.....	41
Figura 6 Diseño geométrico de válvula o lote típico	52
Figura 7 Distribución de turnos de riego por módulo.....	53
Figura 8 Datos técnicos del lateral de riego	55
Figura 9 Datos técnicos del lateral de riego.....	56
Figura 10 Resultados del cálculo del lateral con HydroCalc 3.0.....	57
Figura 11 Diagrama de caudales de la válvula hidráulica	58
Figura 12 Esquema de porta regante con diversos diámetros de tubería en una válvula o lote típico.....	62
Figura 13 Resultados de la tubería porta regante	63
Figura 14 Detalles del cálculo de la porta regante obtenidos con HydroCalc 3.0	63
Figura 15 Orientación del flujo de las mangueras	68
Figura 16 Ubicación de turnos críticos	70
Figura 17 Especificaciones técnicas de filtros de graba serie F600.....	80
Figura 18 Pérdidas de presión a 120 micras	80
Figura 19 Distribución de filtros de graba de 48".....	82
Figura 20 Longitud de tubería 5D aguas arriba del medidor de caudal.	82

Figura 21 Esquema del sistema de almacenamiento e inyección del fertilizante	87
Figura 22 Esquema del sistema de automatización.	90
Figura 23 Caudal real de gotero con uso de caudalímetro – módulo 7.....	96
Figura 24 Caudal real de gotero con uso de caudalímetro – módulo 8.....	97
Figura 25 Resumen de caudal de gotero real promedio por turno – evaluación con caudalímetro.....	98
Figura 26 Evaluación del coeficiente de uniformidad – módulo 7.....	99
Figura 27 Evaluación del coeficiente de uniformidad – módulo 8.....	100
Figura 28 Resumen del coeficiente de uniformidad por turno	101

INTRODUCCIÓN

El agua necesaria para los cultivos proviene principalmente de las precipitaciones, sin embargo, las lluvias son escasas en muchas partes del mundo, es por ello que debe intervenir la mano del hombre y proporcionar el agua requerida a través del sistema de riego. Es importante recalcar que la agricultura es de gran importancia para la alimentación humana y que siempre se busca generar más alimentos, con la menor cantidad de recursos posibles; entre uno de los recursos relevantes, está el riego, pues en los últimos años se ha venido adquiriendo nuevas técnicas de riego que favorezcan el desarrollo de los cultivos, maximizando la producción y minimizando la cantidad de agua utilizada (Cisneros, 2003).

En la costa norte del Perú existen terrenos eriazos los cuales presentan una textura bastante arenosa; por tanto, el punto de partida de este proyecto es cómo aprovecharlos para desarrollar el cultivo de palto, siendo oportuno la instalación de un sistema de riego presurizado por goteo el cual nos garantiza mayor eficiencia y uniformidad en las aplicaciones tanto de agua como de fertilizante en comparación con los sistemas de riego tradicionales.

Actualmente Agrícola Cerro Prieto viene desarrollando el cultivo de palto progresivamente debido a su buen posicionamiento en el mercado internacional; por ende, se viene implementando sistemas de riego presurizado por goteo con la más alta tecnología del mercado.

Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo presentar un diseño de riego presurizado por goteo para el cultivo de palto; el cual tendrá todas las consideraciones agrícolas y agronómicas para adaptarse a los cambios que pueda sufrir durante el crecimiento del cultivo.

Objetivos

- **Objetivo General**

Diseñar, instalar y operar un sistema de riego por goteo en el cultivo de palto en la empresa Agrícola Cerro Prieto.

- **Objetivos específicos**

- Determinar el balance hídrico del cultivo de palto.
- Diseñar agrónomica y geométricamente el sistema de riego por goteo.
- Determinar el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.
- Determinar el presupuesto del sistema de riego y su costo por hectárea.

DISEÑO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Según refiere Delgado y Jara (2022) el sistema de riego elegido en un huerto de paltos debe ser diseñado para cubrir los requerimientos máximos de agua tan frecuentemente como las plantas lo requieran. Es así como los sistemas tecnificados permiten controlar de mejor forma situaciones de excesos o déficit hídricos en las plantas. Dentro del diseño deben considerarse aquellos meses de mayor demanda atmosférica de modo que el equipo logre reponer una lámina igual a la evapotranspirada. También deben considerarse el tipo de suelo en cuanto a su capacidad de retención de humedad y velocidad de infiltración.

Por su parte Zapata y Palomino (2018) plantean como objetivo reducir la cantidad de agua utilizada en el proceso de riego de una parcela ubicada en el distrito de Abelardo Pardo Lezameta – Llaclla, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash. Para lo cual han propuesto el diseño de un sistema automatizado para riego por goteo en base a una estrategia de control desarrollada en una plataforma de hardware libre, Arduino Mega 2560. Tomando la muestra de una hectárea (10000 m²), desarrollaron un software de monitoreo basado en el programa Labview que permite visualizar la variable de proceso en una interfaz gráfica. De esta forma, el usuario puede realizar un seguimiento del proceso de riego y conocer cuál es el estado actual en el que se encuentra el nivel de humedad del suelo.

Asimismo, para Albites y Alvitez (2015) en lo que respecta a la metodología, ellos han iniciado su trabajo, realizando evaluaciones previas del campo, con la finalidad de obtener datos de la parcela en estudio, así como de su entorno, después ejecutaron el trabajo de gabinete, para procesar los datos y luego plantear el diseño del proyecto. Finalmente, en base a sus resultados, se puede deducir que el palto “Hass”, requiere 14,910 m³/ha de agua anualmente, sin embargo, la

disponibilidad de agua superficial de la que disponen asciende a 11,520 m³/ha; por tal motivo, han implementado un reservorio cuya capacidad fue de 6,460 m³; lo cual les ha permitido regar por un lapso de 6 días. Para empezar, el reservorio debe ser llenado por almenos 10 horas el primer día con agua de un canal lateral a la parcela; luego debe ser llenado con agua de un pozo tubular (15 horas/día) para reponer el agua utilizada.

Además, Cortes y Vargas (2020), indican que la relación entre el recurso de agua y la producción agrícola es directamente proporcional, debido a que dicho recurso es el que permite el buen crecimiento de los cultivos, vale destacar que también se debe acompañar de unos cuidados básicos, a medida que se han ido adelantando estudios acerca de las propiedades de cada tipo de cultivo se ha evidenciado que cada uno tiene necesidades distintas, cada uno se desarrolló en temperaturas ideales específicas, algunas requieren más cantidad de agua que otras, por lo cual es fundamental garantizar que el cultivo sea regado según sus necesidades. (p.17)

El Banco Mundial (2021) manifiesta que, en el mundo, la agricultura de regadío está representada por aproximadamente un 20% del área cultivada, contribuyendo así con el 40% de la producción de alimentos en el mundo. En el caso de Ecuador las prácticas de riego son ancestrales, ya que se realizan desde hace siglos, por lo general realizan el riego por gravedad, generando así que el agua se distribuya hasta la planta mediante surcos, canteros e incluso llegando a inundar cada planta del cultivo; por tal motivo ha surgido el proyecto de irrigación tecnificado parcelario, con la finalidad de modernizar y generar sostenibilidad en los sistemas agrícolas incrementando sus ingresos económicos.

Arteaga (como se citó en Barboza, 2020) menciona que en la provincia de Ascope, que pertenece a la región La Libertad, donde se cultiva esparrago mediante el sistema de riego por goteo, en su investigación para determinar el coeficiente de uniformidad, ha empleado la metodología de aforo de goteros haciendo uso de la fórmula propuesta por Merriam, J y Kelller, J (1978); de tal manera que ha llegado a aforar un total de 144 goteros, distribuidos en 9 válvulas, para ello se ha tomado en cuenta 4 líneas de riego por válvula y de estas, ha evaluado 4 goteros por línea, teniendo un total de 16 goteros por válvula. Una vez realizada la evaluación ha obtenido como resultado de coeficiente de uniformidad de cada una de las 9 válvulas igual a: 94.15%, 93.24%, 92.44%, 93.24%, 93.91%, 93.77%, 94.42%, 95.65%, 93.31%; de tal manera que el coeficiente de uniformidad de todo el sistema ha venido a ser igual a 93.78%.

2.2. Base teórica

2.2.1. *Sistemas de riego*

Una definición muy acertada de los sistemas de riego es la que dan los rusos como Aidarov et al. (1985), quienes refirieron que el sistema de riego, es un conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego.

2.2.2. *Riego por goteo*

Según Groppa (1983) el riego por goteo se puede definir como:

Un método diferente de riego, un enfoque agronómico distinto para cultivar plantas bajo condiciones controladas de humedad y nutrientes. El riego por goteo ofrece la posibilidad de alimentar a las plantas de forma continua, de acuerdo con sus requerimientos específicos. (pp. 35-36)

En el riego por goteo el agua se distribuye por tuberías de polietileno, a intervalos regulares están los goteros. Los diversos tipos de goteros se diferencian en el sistema que usan para disipar la energía proveniente de la presión del agua y producir un caudal (L/h). Además, existen goteros de varios tipos, como vortex, helicoidales, de laberinto y autocompensantes.

2.2.2.1. Ventajas agronómicas. Ahorro de agua, debido a varias causas (Pizarro, 1987):

- ET bastante menor en árboles jóvenes; algo menor en adultos.
- Pérdidas de agua prácticamente nula en las conducciones y reducida en la aplicación.
- Alta uniformidad de riego si el sistema está bien diseñado y mantenido.
- Posibilidad de medición y control del agua aplicada.

Alta frecuencia de riego, con estas dos consecuencias:

- Humedad del suelo permanentemente alta.
- Salinidad del suelo menor, al estar las sales más diluidas.

Posibilidad de aplicar la fertirrigación, con estas ventajas:

- Ahorro de fertilizantes.
- Ahorro de mano de obra.
- Mejor distribución de fertilizantes en el tiempo y en el espacio.
- Mejor asimilación de fertilizantes.
- Posibilidad de actuar rápidamente ante deficiencias.

Aprovechamiento de suelos marginales:

- Suelos muy permeables (arenas, gravas, rocas etc.).
- Suelos poco permeables con problemas de falta de aireación.
- Suelos con mucha pendiente.

- Parcelas pequeñas de forma irregular.
- Restauración de terraplenes, escombros, barrancos etc.

Mantenimiento del follaje seco, con estas ventajas:

- Menos enfermedades.
- Menor lavado de productos de tratamientos.
- Con aguas salinas, se evita el quemado de las hojas.
- Mayor calidad de algunos productos (p. ej. Flores).

Posibilidad de empleo de aguas de menor calidad:

- Menor efecto osmótico con aguas salinas, al estar las sales más diluidas.
- Lavado continuo del bulbo húmedo.

Posibilidad de riego en cultivos acolchados o con micro túneles.

Localización de malas hierbas, que se concentran en el área húmeda lo que facilita su tratamiento.

Menores interferencias con cosechas, tratamientos, viento, etc.

Las instalaciones de fertirrigación permiten la aplicación de otros productos.

2.2.2.2. Ventajas económicas y de manejo (Pizarro, 1987).

- Se necesita algo menos de presión que en aspersión.
- Menor gasto en energía, debido a los menores consumos de agua y a las menores necesidades de presión.
- Muy pocas necesidades de mano de obra para el manejo del riego.
- Facilidad de la automatización.
- Facilidad de riego durante las 24 horas del día, lo que permite aprovechar las horas de energía barata.

Como consecuencia de algunas ventajas, principalmente del mantenimiento de una alta humedad en el suelo y de la fertirrigación, en riego localizado los cultivos obtienen generalmente mayores rendimientos que con otros sistemas de riego.

2.2.2.3. Inconvenientes (Pizarro, 1987).

- Facilidad de obturaciones de los emisores. Este es el principal problema del riego localizado.
- Coste de las instalaciones. En comparación con aspersión, el riego localizado generalmente es más caro para cultivos arbóreos.
- Se necesita presión para su funcionamiento, a diferencia del riego por gravedad.
- Ocasiona el lavado localizado de las sales, creando zonas de acumulación salina. Donde la lluvia es insuficiente, o en invernaderos, cuando es necesario lavar las sales, hay que hacerlo por otros sistemas como inundación o aspersión.
- No permite la defensa contra heladas.

2.2.2.4. Emisor de goteo. Ramírez (como se citó en Barboza, 2020) menciona que el emisor es un elemento importante del sistema de riego que se ubica en los laterales y se encuentran distribuidos a determinados espaciamientos determinados, esto permite que baje la presión del agua a lo largo del recorrido interno, de tal manera que al salir el agua salga esta mediante gotas. Los goteros son accesorios que al momento de su fabricación pueden ir o no adheridos a la manguera; además cabe recalcar que los goteros pueden ser autocompensado o no autocompensado, lo cual definirá la uniformidad del caudal.

2.2.2.5. Tubería matriz o principal. Se ubica a partir del cabezal de riego hasta los demás puntos de riego que se ubican en una parcela, además, son fabricadas con material PVC o Policloruro de vinilo (Barboza, 2020).

2.2.2.6. Tubería secundaria. Esta tubería se encuentra conectada desde la tubería matriz y distribuye el agua hasta la tubería terciaria y son fabricadas con el mismo material de la dicha tubería (Barboza, 2020).

2.2.2.7. Tubería terciaria. Va conectada desde la tubería secundaría y distribuye el agua hacia los laterales de riego; además son fabricadas con PVC (Barboza, 2020).

2.2.2.8. Laterales de riego. Estos parten desde las tuberías terciarias y por lo general tienen adheridos los goteros; el material que se emplea en su fabricación es el polietileno o PE (Barboza, 2020).

2.2.2.9. Unidad de riego. Esta se constituye por una determinada área de riego, que se rige por un mismo punto de suministro de agua; puesto que en el caso de las extensiones grandes de terreno, es necesario subdividir en unidades menores para suministrar y regular el agua mediante el uso de válvulas (Barboza, 2020).

2.2.2.10. Sub-unidad de riego. Ramírez (como se citó en Barboza, 2020) indica que esta es un área regante, donde se ubican varios laterales, distribuidos en una misma dirección y suministrados de agua por una misma tubería.

2.2.2.11. Turno de riego. Ramírez (como se citó en Barboza, 2020) menciona que vienen a ser todas las unidades de riego que suministran de agua a una determinada área al mismo tiempo; además, poseen válvulas de riego que controlan la apertura o cierre del suministro de agua y reguladores de presión, los cuales permiten mantener la misma presión en toda la superficie de riego.

2.2.2.12. Coeficiente de uniformidad (CU). Es un indicador que nos ayuda a expresar numéricamente la relación de volumen de riego aplicados en un área determinada; es decir que nos da a conocer si el riego se ha dado de forma uniforme en toda la superficie regada. Por lo general se utilizan resultados en porcentaje (Barboza, 2020, p. 21).

2.2.3. Evaluación de uniformidad de riego

La evaluación de una instalación de riego localizado es un procedimiento por el que se puede comprobar su correcto funcionamiento de forma que se pueda cumplir el objetivo primordial del riego, satisfacer las necesidades de agua del cultivo. También permitirá valorar si los materiales, características de diseño, mantenimiento y manejo son adecuados, así como comprobar si todo el cultivo recibe la misma cantidad de agua o en su caso determinar las diferencias.

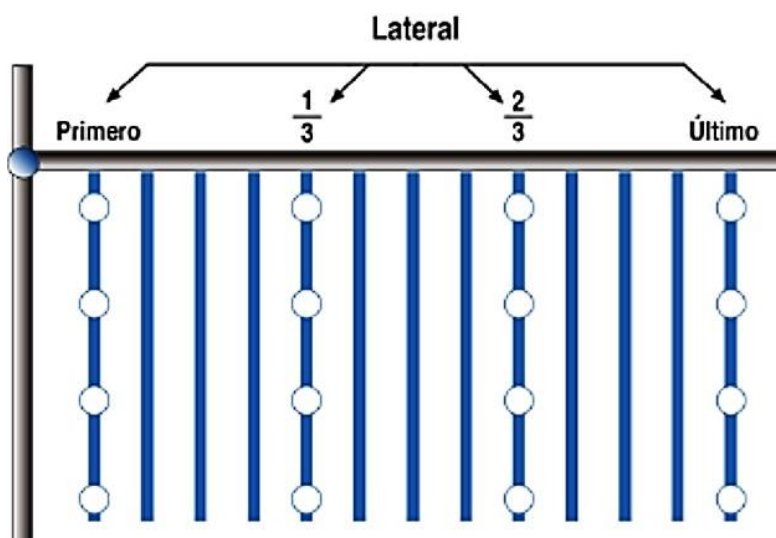
Para evaluar la uniformidad de un sistema de riego localizado se elegirá la unidad de riego más representativa de la instalación. Una vez seleccionada la unidad de riego, se elegirá una de sus subunidades (también la más representativa) a la que se hará la

evaluación. En primer lugar, se determinará la uniformidad de distribución de la subunidad elegida y posteriormente la de la unidad de riego (Barboza, 2020, pp. 16-17).

2.2.3.1. Uniformidad en la unidad de riego. Para evaluar la Uniformidad dentro de la subunidad se usan dos coeficientes: el Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CUC) y el Coeficiente de Uniformidad de Presiones (CUP). Para calcular la CUC se elegirá un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego. Se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular este coeficiente. Para ello, se eligen los laterales más cercanos y más lejanos o situados a los extremos de la toma de la tubería terciaria y los dos intermedios (los situados a un tercio y dos tercios). En cada lateral se seleccionan cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del lateral y los dos intermedios, lo cual se puede observar en la Figura 1. (Barboza, 2020, p. 17)

Figura 1

Selección de elementos para pruebas



Nota. En la figura se muestra el procedimiento para la selección de los laterales y emisores para realizar las pruebas. Fuente: extraído de Junta de Andalucía, Barboza (2020).

Con una probeta o vaso graduado en unidades de 2 cm³ se medirá el volumen de agua suministrado por los emisores que se hayan seleccionado en un tiempo determinado. Este tiempo será igual para todos ellos. Una vez conocido el caudal en cada uno de los emisores seleccionados, se calculará el Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CUC) siguiendo los siguientes pasos (Barboza, 2020, p. 18):

1. Se calcula la media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte de más bajo caudal (q_{25%}).
2. Se calcula la media de los caudales medidos en todos los emisores (q_m).
3. Una vez conocida los valores de q_{25%} y q_m se calcula la CUC mediante la siguiente fórmula: $CUC = 100 \times \frac{q_{25\%}}{q_m}$

2.2.4. Proceso de evapotranspiración

Según menciona la FAO (2006), “se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo” (p. 22).

2.2.4.1. Evaporación. Según la FAO, la evaporación viene a ser:

El proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere de energía. La radiación solar directa y la temperatura del ambiente proporcionan esta energía. (p. 22)

2.2.4.2. Transpiración. La Transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce las prácticas de cultivo. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo, sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración. (FAO, 2006, p. 24)

2.2.4.3. Evapotranspiración. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. (FAO, 2006, p. 24)

2.2.5. *Coefficiente de cultivo*

El valor del coeficiente de cultivo incorpora las características del cultivo y los efectos promediados de la evaporación del suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo del riego, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios de cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de K_c calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo. (FAO, 2006, p. 124)

2.2.6. *Diseño agronómico*

El diseño agronómico del sistema de riego define cuales son los aspectos que deben estar formando el sistema de riego, para que cumpla a cabalidad con los requerimientos hídricos y nutricionales de la planta, con condiciones ideales de eficiencia y uniformidad tanto en la aplicación de agua como fertilizantes de tal forma que brinden las condiciones ideales a la planta que permitan aprovechar al máximo el potencial productivo de la planta con una relación técnico económica viable y generen rentabilidad adecuada. La lámina máxima de riego, jornada de riego, distancia entre goteros, caudal del gotero, tipo de gotero, entre otros aspectos, los cuales se definen antes del sistema.

2.2.7. *Diseño hidráulico*

Este consiste básicamente en el cálculo hidráulico de cada uno de los componentes del sistema de riego:

- Sistema de bombeo o cabezal de riego.
- Sistema de filtrado.
- Sistema de inyección y mezcla de fertilizantes.
- Tuberías en campo (principales y secundarias).
- Válvulas hidráulicas de riego.
- Automatización.
- Laterales de riego.
- Válvulas de control.

De tal forma que permita aplicar el agua y los fertilizantes solubles vía fertirriego con valores de:

- Alta uniformidad (agua y fertilizante).

- Alta eficiencia (agua y fertilizantes).
- Costo racional.

Estos componentes deben ser diseñados, calculados, ensamblados de manera técnica ya que permiten llevar el agua y los fertilizantes a cada una de las plantas en forma eficiente y uniforme.

2.2.8. *EL riego y su impacto en el ambiente*

Desde el punto de vista ambiental existe y se prevé un notorio incremento de la competencia por el agua; por lo tanto, y en el marco de este estudio, resulta fundamental que las opciones de ampliación del área servida por el riego se realicen conservando los recursos hídricos e implementando acciones de conservación del suelo.

Dado que el incremento de área de riego muy probablemente contemple su expansión no sólo sobre áreas cultivadas, sino también a expensas de la vegetación natural, será prioritaria la realización de acciones de mitigación y compensación de los impactos que dicho incremento produzca sobre el ambiente. Asimismo, los impactos originados en la erosión del suelo y agotamiento de nutrientes deben ser contemplados en el marco de una estrategia regional.

El proceso de intensificación de la agricultura en nuestro país ocurre simultáneamente con profundos y rápidos cambios en la tecnología y la estructura de producción, lo que ejerce presiones crecientes sobre los recursos naturales, en particular el suelo. Este proceso de intensificación se caracteriza entre nosotros por estar basado en sistemas de producción altamente eficientes desde el punto de vista económico, pero que

en su mayoría no contemplan los pasivos ambientales. Esta intensificación va acompañada de un avance no planificado de la frontera agrícola.

La disponibilidad de tierras, tecnologías y recursos naturales, hace prever que continuará la expansión de la frontera agrícola, en función de la demanda de alimentos, fibras y biocombustibles, dentro de un contexto socio-económico de mercados cambiantes y de variabilidad y cambio climático.

A pesar de los avances tecnológicos, como la siembra directa, la agricultura de precisión, el ajuste de dosis de agroquímicos, la eficiencia del riego mecanizado, el manejo por ambientes, las modernas maquinarias y otros varios avances, entre ellos los revolucionarios de la biotecnología, existen evidencias de indicadores de degradación ambiental en un marco eco sistémico y regional.

Éstos indicadores señalan problemas de desertificación, deforestación, salinización, degradación y contaminación de suelos, aguas y atmósfera, de acuíferos y fuentes de agua superficiales, erosión de tierras, disminución de la dotación de nutrientes, sedimentación de cursos de agua y reservas hídricas, escorrentías, disminución de la infiltración del agua en las altas cuencas, pérdida de biodiversidad, riesgos de plagas, manejos no sustentables, aumento de la vulnerabilidad ante fenómenos climáticos extremos, fragilidad de ecosistemas por falta de planificación territorial, fragmentación de paisajes, problemas socio-económicos (desempleo, envejecimiento de la población rural, incremento de los costos de producción, pérdida de renta agraria, problemas de comercialización en producciones regionales, falta de equidad), concentración de las tierras y éxodo rural, entre otros. (FAO, UNSAM, 2014)

DISEÑO METODOLÓGICO.

3.1. Datos básicos

3.1.1. Población de estudio

Agrícola Cerro Prieto ubicada en el norte del Perú, actualmente cuenta con una superficie de 4,666 hectáreas, de las cuales 3,362 están habilitadas para la agricultura.

3.1.2. Muestra de estudio

Se eligió 226 hectáreas brutas para la instalación del sistema de riego por goteo en el cultivo de palto.

3.1.3. Ubicación

El proyecto se encuentra ubicado en el fundo de la empresa Agrícola Cerro Prieto S.A., distrito Pacanga, provincia Chepén, región La Libertad. En la Figura 2 se muestra la ubicación del fundo.

Figura 2

Mapa de ubicación del proyecto



Nota. La figura muestra la ubicación del fundo y el área del proyecto. Fuente: Google Earth.

3.1.4. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es uno de los puntos de partida para comenzar con el diseño del sistema de riego; en el cual se muestra el perímetro del área asignada para el proyecto, curvas de nivel a 1 m. y 5 m. como se detalla gráficamente en el Anexo 1.

3.1.5. Condiciones climáticas

Agrícola Cerro Prieto cuenta con estaciones meteorológicas; las cuales registran datos diarios de diversas variables, que permiten determinar las condiciones del tiempo y tomar decisiones en las diversas labores agronómicas que se desarrollan en el cultivo (riego, sanidad, fertilización, siembra, etc.).

3.1.6. Oferta de agua

Las tierras agrícolas de ACP son parte integrante del sistema de riego regulado del valle Jequetepeque, obteniéndose los recursos hídricos del embalse Gallito Ciego.

El suministro de agua hacia el fundo Cerro Prieto se efectúa a través del canal Talambo, el cual es parte de la infraestructura mayor del sistema de riego regulado del valle y que se inicia en la bocatoma del mismo nombre en el río Jequetepeque. La entrega de agua al fundo a través de este canal se efectúa en la parte final de su desarrollo en el km. 31, en la estructura denominada TP 6. A partir de esta captación (TP 6), ACP ha construido un canal revestido en concreto denominado canal Pima con una longitud total de 26.4 km., tipo telescópico, con capacidad inicial de 7 m³/s y capacidad final de 5 m³/s; de esta manera, garantizando la cantidad de agua para el área de todo el fundo.

3.1.7. Calidad de agua

La calidad del agua y su composición tanto física y química son características que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, en la parte estructural del suelo y

también en el sistema de riego; en el Anexo 2 se muestra el análisis físico-químico del agua de riego que se usa para nuestro proyecto; donde, resalta los valores de C.E. de 0.31 dS/m, pH de 8.1, bicarbonatos (HCO_3) de 1.52 meq/l los cuales reflejan un agua óptima para el cultivo de palto.

3.1.8. Suelo

Gardiazabal (2004) sostiene que el palto requiere de un muy buen drenaje en el suelo para poder vivir y producir, ya que es una de las especies más sensibles a la asfixia radicular.

Agrícola Cerro Prieto presenta un suelo arenoso; los cuales, se caracterizan por ser suelos profundos con presencia de capas ligeramente compactadas a profundidades mayores de 50 cm.

Suelo no salino, de textura gruesa, presenta una reacción alcalina y bajo contenido de materia orgánica.

El suelo de Agrícola Cerro Prieto es de clase textural arenosa con 0.132 dS/m y un pH de 7.77, como se puede apreciar en el Anexo 3.

3.1.9. Energía

Agrícola Cerro Prieto cuenta con energía eléctrica, la cual es tomada de la línea de media tensión; esta energía es distribuida a las diferentes casetas de riego; donde, con uso de un transformador se obtiene una corriente trifásica de 380 V y monofásica de 220 V.

3.2. Metodología para el balance hídrico

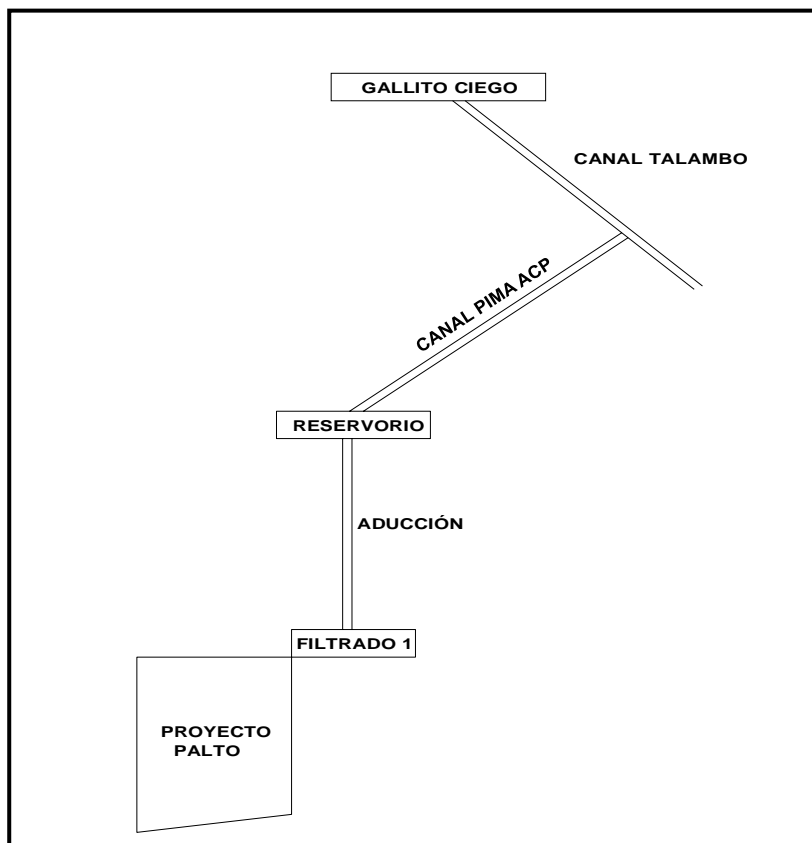
Debido a que toda el área con la que cuenta la empresa Agrícola Cerro Prieto cuenta con derecho de agua para la agricultura no se realizó el balance del agua disponible vs el agua requerida para el proyecto; pero, si se calculó el volumen total de agua requerida por día para toda el área de nuestro proyecto.

3.3. Esquematización del proyecto

A continuación, en la Figura 3, se puede apreciar el esquema hidráulico del proyecto:

Figura 3

Esquema hidráulico del proyecto



Nota. La figura muestra la esquematización del proyecto. Fuente: elaboración propia.

3.4. Metodología para el diseño agronómico

En el diseño agronómico se consideró los siguientes parámetros:

- Densidad de plantación: se definió la cantidad de plantas por hectárea en base al manejo de altas densidades por parte de ACP – cultivo palto.
- Marco de plantación: se definió la distancia entre líneas de siembra y la distancia entre plantas por que las actividades del cultivo son mecanizadas.

- Distribución y selección de emisores: Se determinó en función a las características físico-químicas del suelo.
- Distribución y selección de laterales de riego: Se definió en función a las características del cultivo.
- Descarga del sistema de riego.
- Tiempo de riego: Se evaluaron 3 tiempos de riego: 24 horas, 16 horas y 12 horas.
- Tiempo de riego por turno: Se determinó la cantidad de horas que demora en reponer la máxima lámina de riego en un turno.
- Determinación de la cantidad de turnos de riego: Se determinó en función a la jornada de riego y al manejo del agrónomo, de tal forma que el cultivo se riegue de manera oportuna.

3.5. Metodología para el diseño geométrico

Distribuir el área total en lotes típicos para facilitar los cálculos del diseño hidráulico.

3.6. Metodología para el diseño hidráulico

Se usó la herramienta virtual HydroCalc 3.0 de Netafim; la cual nos facilita el cálculo de las pérdidas de carga en el lateral de goteo, tubería porta regante; además, se usó la ecuación de Hazen y Williams para calcular las pérdidas de carga en tuberías aductoras y tuberías matriz.

3.7. Metodología para la evaluación del diagnóstico del sistema de riego

Evaluación de la descarga del gotero: Se realizó la evaluación a cada una de las válvulas utilizando el mismo procedimiento; donde, se eligió evaluar 4 líneas de siembra por cada válvula y de cada línea se evaluó 1 manguera, en la cual se insertó el caudalímetro al inicio de la manguera presurizada como se muestra en la Figura 4; los resultados se expresaron en litros por

hora (lph) siendo necesario conocer para esto la cantidad de goteros que tiene la manguera de riego evaluada.

Figura 4

Montaje de un caudalímetro de $\frac{3}{4}$ " para evaluación de la descarga de gotero.



Nota. Se muestra el montaje del caudalímetro. Fuente: Tomado de Agrícola Cerro Prieto.

3.8. Evaluación del porcentaje de coeficiente de uniformidad

Se realizó la evaluación a cada una de las válvulas utilizando el mismo procedimiento; donde, se eligió evaluar 4 líneas de siembra por cada válvula, de cada línea se evaluaron 3 goteros, resultado un total de 12 goteros por válvula; en los cuales, con el uso de vasos y jeringas se aforó la descarga del gotero al inicio, medio y final de manguera por un tiempo de 1 minuto; resultados que se expresaron en porcentaje.

RESULTADOS

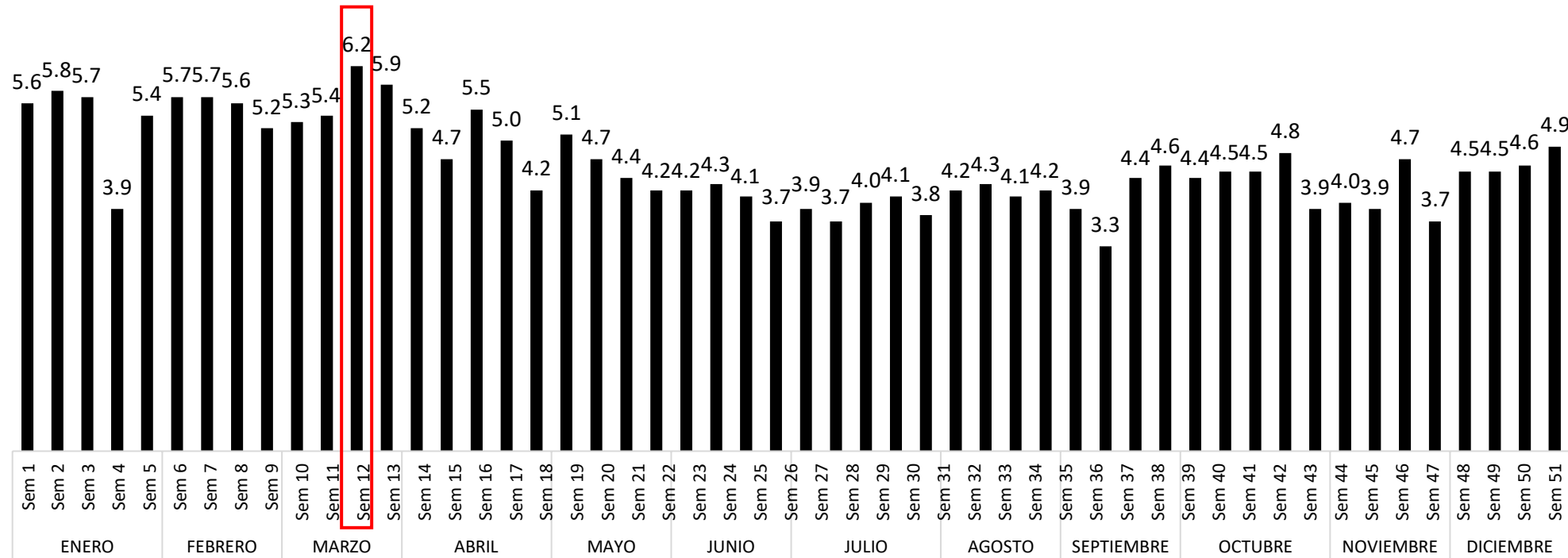
4.1. Balance hídrico

Las necesidades hídricas en el cultivo de palto están ligadas directamente a las interacciones del ambiente y las necesidades según la edad de la plantación.

En el presente proyecto se analizó la variable evapotranspiración potencial, como es mostrado en la Figura 5; realizando un comparativo de los resultados de evapotranspiración promedio por semana y seleccionando los registros más altos del año para consideración de nuestro balance hídrico en el proyecto.

Figura 5

Registro de evapotranspiración potencial



Nota. En esta figura es mostrado el registro de evapotranspiración potencial. Fuente: tomado de Estación meteorológica de filtrado 3, Agrícola Cerro Prieto (2020).

Según el registro de evapotranspiración el promedio por día más alto es 6.2 mm, lo cual se obtuvo en la semana 12 del año 2020; por tanto, ese dato fue tomado como referencia para realizar el cálculo del balance hídrico para nuestro proyecto.

Con el fin de realizar el cálculo de la lámina máxima de riego y dimensionar el sistema de riego, se tomó en cuenta los resultados de evapotranspiración potencial (Eto) obtenidos de la estación meteorológica instalada en el fundo y coeficiente de cultivo (Kc) en su máxima demanda del cultivo.

Para ello se debe tener en cuenta las siguientes equivalencias:

$$1\text{m}^3 = 1000 \text{ l.}$$

$$1\text{mm} = 1 \text{ l/m}^2$$

$$1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha.}$$

En Agrícola Cerro Prieto en el cultivo de palto se vienen manejando valores de Kc desde 0.8 – 1.13. y de acuerdo a la Figura 5, el registro más alto de Eto es de 6.2 mm obtenido en el mes de marzo; de esta manera, con los datos se ha procedido a calcular la evapotranspiración del cultivo (Etc) o lámina máxima de riego.

$$\mathbf{Etc = Eto * Kc}$$

$$\mathbf{Etc = 6.2\text{mm/día} * 1.13}$$

$$\mathbf{Etc = 7.00 \text{ mm/día}}$$

Por lo tanto, el valor de la lámina máxima de riego asciende a 7.00 mm/día en su máxima demanda del cultivo.

Tabla 1*Resumen del balance hídrico*

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD
Área neta	ha	216.6
Eto promedio	mm	6.2
Kc		1.13
Etc	mm	7.0
Volumen de agua requerido	m ³ /día	15,162

Nota. La tabla muestra el resumen del balance hídrico, donde se observa que para 216.6 ha de palto, se requiere de 15,162 m³/día de agua. Fuente: Agrícola Cerro Prieto.

4.2. Diseño agronómico

Teniendo en cuenta que el cultivo considerado para este proyecto es Palto 'Hass' y la densidad que maneja la empresa es de 714 plantas/ha con un marco de plantación de 7 m x 2 m; esto, debido que las actividades que se desarrollan dentro del proceso productivo en su mayoría son mecanizadas. (Aplicación fitosanitaria, poda, cosecha, etc).

Adicionalmente, siguiendo el esquema y secuencia de los campos ya instalados se tomó la decisión de distribuir el área total en 2 módulos de riego; además, la partición de área nos ayudó a reducir el caudal total en dos partes, permitiendo de esta manera una mejor operación y control del sistema:

- Módulo 7: 111.7 ha
- Módulo 8: 104.9 ha

4.2.1. Distribución y selección de emisores

Teniendo como referencia que tenemos un suelo arenoso, el cual a diferencia de un suelo franco o un suelo arcilloso no tiene una buena retención de humedad, debido a que las partículas de este tipo de suelo son mucho mayores; por ende, el bulbo de humedecimiento es mayormente vertical y no horizontal, de esta manera nos vimos en la necesidad de usar emisores separados a cortas distancias y con bajos caudales; además, considerando que el palto tiene un sistema radicular bastante distribuido en área, generalmente en proporción a la copa del árbol, se tomó la decisión de utilizar emisores de bajo caudal (1.6 lph) distribuidos a 40 cm. entre emisor, esto con la finalidad de lograr el traslape entre bulbos de humedad.

4.2.2. Distribución y selección de laterales de riego

Siguiendo el mismo concepto de la distribución de emisores, para la distribución de laterales de riego se tomó la decisión de utilizar tres mangueras por hilera, de tal forma que cubran toda el área radicular de la planta cuando está en su máximo desarrollo; además, seleccionamos la manguera autocompensada debido a las pendientes que tiene el terreno (menor a 1%) para lograr de esta manera la uniformidad del riego y fertilización.

Se consideró la manguera autocompensada de 16 mm de diámetro, clase 15 mil y con una longitud máxima de 125 m., respetando siempre sus características y especificaciones técnicas a fin de garantizar la máxima eficiencia del riego.

4.2.3. Descarga del sistema de riego

Con los datos antes mencionados calculamos la descarga o precipitación del sistema de riego teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Q_e}{(\text{Dist. entre laterales}) * \text{Dist. entre emisores}}$$

Donde:

P: Precipitación del sistema de riego (mm/h)

Qe: Caudal del emisor (lph)

Dist. entre laterales: Distancia entre laterales de riego (m)

Dist. entre emisores: Distancia entre goteros (m)

Reemplazamos los valores en la fórmula:

$$P = \frac{1.6}{2.33 * 0.4}$$

$$P = 1.71 \text{ mm/ha/h}$$

Por lo tanto, el valor de la precipitación del sistema de riego viene a ser 1.71 mm/ha/hora.

4.2.4. Tiempo de riego

Se realizó la evaluación de la oportunidad de la capacidad del sistema de riego vs la oportunidad del fertirriego; teniendo en cuenta que los sistemas de riego de baja capacidad (filtrados pequeños, electrobombas pequeñas, tuberías con dimensiones reducidas, etc.) son mucho más económicos en cuanto al costo de instalación, pero requieren de tiempos de riego muy largos que generalmente se ocupan las 24 horas para regar toda el área del cultivo, de esta manera generando mayor demanda económica en la operación del sistema y el manejo del cultivo.

Tabla 2*Comparativo de jornadas de riego*

FACTOR	UNIDAD	24 HORAS	16 HORAS	12 HORAS
Área de cultivo	has.	216.6	216.6	216.6
Lámina de diseño	m ³ /día.	70	70	70
Volumen de riego	m ³ /día.	15,162	15,162	15,162
Tiempo de riego	h/día.	24	16	12
Capacidad del sistema	m ³ /h.	632	948	1264
Costo del sistema	\$.	Bajo	Medio	Alto
Rendimiento esperado del cultivo	ton/ha.	Bajo	Medio	Alto
Recuperación de inversión	tiempo	Largo plazo	Mediano plazo	Corto plazo
Rentabilidad	\$.	Baja	Media	Alta

Nota. En la tabla se aprecia la evaluación del tiempo de riego. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la evaluación de todos los factores que involucran se eligió el tiempo de riego de 16 horas; asegurando no regar todas las horas del día en caso de elegir el tiempo de 24 horas y tampoco el tiempo de riego de 12 horas, pues esto requiere de un mayor costo.

4.2.5. Tiempo de riego por turno

Se calculó el tiempo que demora el sistema en ejecutar la lámina máxima de riego por turno; para ello se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de riego por turno (h)} = \frac{\text{Lámina máxima de riego (mm/día)}}{\text{Precipitación del sistema de riego (mm/h)}}$$

$$\text{Tiempo de riego por turno (h)} = \frac{7 \text{ mm/día}}{1.71 \text{ mm/h}}$$

$$\text{Tiempo de riego por turno (h)} = 4.09 \text{ h}$$

De ese modo que se obtuvo el tiempo de riego por turno igual a 4.09 h.

4.2.6. Determinación de la cantidad de turnos de riego

De acuerdo al análisis antes realizado se usó el tiempo de riego de 16 horas; además, debemos tener en cuenta que la cantidad de turnos de riego nos ayuda a desplegar de manera considerable el caudal de agua requerido; por ende, el tiempo de riego por turno es de 4.09 horas independiente de otros turnos; este procedimiento aplica por cada módulo de riego.

Por tanto, procedemos a determinar la cantidad de turnos de riego:

$$\text{Cantidad de turnos de riego} = \frac{\text{Jornada de riego (h)}}{\text{Tiempo de riego por turno (h)}}$$

$$\text{Cantidad de turnos de riego} = \frac{16\text{h}}{4.09\text{h}}$$

$$\text{Cantidad de turnos de riego} = 4$$

A continuación, en la Tabla 3 y 4 se muestran los detalles del sistema de riego tanto del módulo 7, como del módulo 8 del cultivo de palto en ACP.

Tabla 3

Cuadro de detalles del sistema de riego módulo 7

TURNO	VÁLVULA	ÁREA (m2)	ANCHO DE VÁLVULA (m)	LARGO DE VÁLVULA (m)	DIST. ENTRE HILERAS (m)	N° HILERAS/VÁLVULA	DIST. ENTRE PLANTAS (m)	N° LATERALES/ HILERA	DIST. ENTRE EMISORES (m)	CAUDAL DEL EMISOR (lph)	LINEA DE GOTEO (m)	N° LATERALES DE RIEGO	N° PLANTAS/ HILERA	N° PLANTAS/ VÁLVULA	N° EMISORES/ HILERA	N° GOTEROS/ VÁLVULA	CAUDAL DE VÁLVULA (m³/h)	CAUDAL/TURNO (m³/h)	ÁREA/TURNO (has.)
1	1	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6	480.0	28.0
	5	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	9	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	13	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	17	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	21	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	25	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
2	2	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6	480.0	28.0
	6	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	10	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	14	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	18	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	22	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	26	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
3	3	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6	480.0	28.0
	7	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	11	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	15	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	19	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	23	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
	27	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	68.6		
4	4	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8	474.5	27.7
	8	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8		
	12	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8		
	16	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8		
	20	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8		
	24	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8		
	28	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	67.8		
TOTAL	28	111.7	319	125	7	1,276	2	3	0.4	1.6	478,629	3,829	62	79,133	937	1,196,573	68.4	478.6	111.7

Nota. En esta tabla son mostrados los detalles del sistema de riego del módulo 7. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4

Cuadro de detalles del sistema de riego módulo 8

TURNO	VÁLVULA	ÁREA (m ²)	ANCHO DE VÁLVULA (m)	LARGO DE VÁLVULA (m)	DIST. ENTRE HILERAS (m)	N° HILERAS/VÁLVULA	DIST. ENTRE PLANTAS (m)	N° LATERALES/HILERA	DIST. ENTRE EMISORES (m)	CAUDAL POR EMISOR (lph)	EMISORES/ GOTEO (m)	N° LATERALES DE RIEGO	N° PLANTAS/HILERA	N° PLANTAS/VÁLVULA	N° EMISORES/HILERA	N° GOTEROS/VÁLVULA	CAUDAL VÁLVULA (m ³ /h)	CAUDAL/ TURNO (m ³ /h)	ÁREA/ TURNO (has.)
1	1	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69	511	30
	5	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	9	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	13	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	17	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	21	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	25	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	29	18,283	320	57	7	46	2	3	0.4	1.6	7,836	137	28	1,283	429	19,589	31		
2	2	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69	486	28
	6	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	10	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	14	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	18	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	22	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	26	43,379	320	136	7	46	2	3	0.4	1.6	18,591	137	67	3,076	1,017	46,478	74		
3	3	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69	462	27
	7	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	11	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	15	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	19	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	23	40,000	320	125	7	46	2	3	0.4	1.6	17,143	137	62	2,834	938	42,857	69		
	27	29,458	320	92	7	46	2	3	0.4	1.6	12,625	137	46	2,081	690	31,562	50		
4	4	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	68	339	20
	8	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	68		
	12	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	68		
	16	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	68		
	20	39,543	316	125	7	45	2	3	0.4	1.6	16,947	136	62	2,802	937	42,368	68		
TOTAL 27		104.9	319	122	7	1,232	2	3	0.4	1.6	449,501	3,695	60	74,301	912	1,123,752	67	450	104.9

Nota. En esta tabla son mostrados los detalles del sistema de riego del módulo 8. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5*Parámetros del diseño agronómico*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MÓD. 7	MÓD 8	TOTAL MÓD. 7 Y 8
Distancia entre hileras	m	7	7	7
Distancia entre plantas	m	2	2	2
Plantas por hectárea	uds.	714	714	714
Caudal del emisor	lph	1.6	1.6	1.6
Tipo de emisor	tipo	Autocom.	Autocomp.	Autocomp.
Características del emisor	Diám./clase	16mm/15mil	16mm/15mil	16mm/15mil
Distancia entre emisores	m	0.4	0.4	0.4
Lateral de riego por hilera	uds.	3	3	3.0
Emisores por hectárea	uds.	10,714	10,714	10,714
Caudal por hectárea	l/ha/h	17,143	17,143	17,143
Precipitación del sistema	mm/h	1.71	1.71	2
Pendiente del terreno	%	1	1	1
Largo lote típico	m	125	125	125
Ancho lote típico	m	320	320	320
Área media por válvula	ha/válvula	4	4	4
Caudal por válvula típica	m ³ /h	68.6	68.6	69
Área total	ha	111.7	104.9	216.6
Plantas totales	uds.	79,772	74,917	154,688

Nota. En esta tabla se muestran todos los parámetros del diseño agronómico del sistema de riego presurizado por goteo como: caudal de emisor, precipitación del sistema de riego, etc. Fuente: elaboración propia.

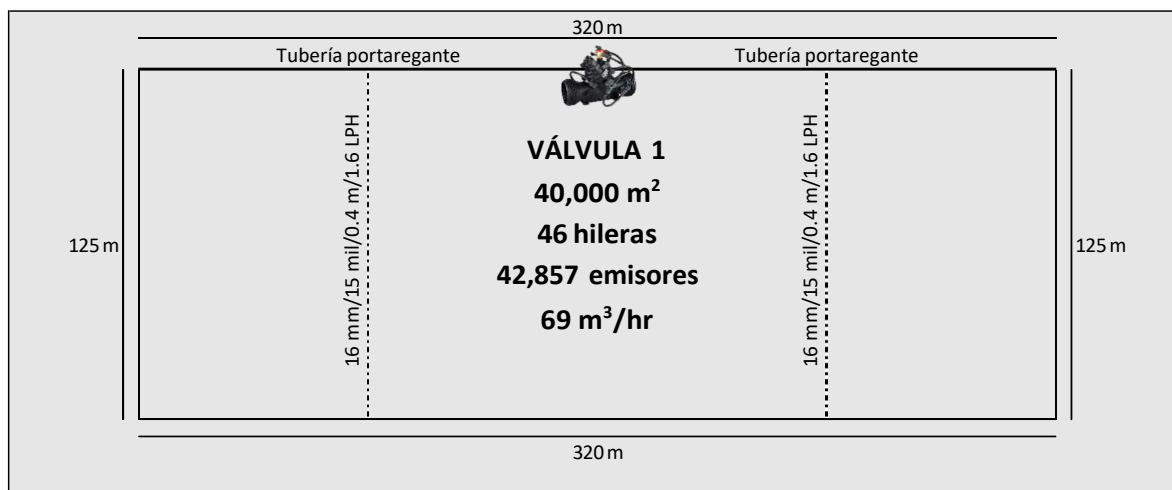
4.3. Diseño geométrico

Teniendo en consideración los parámetros del diseño agronómico y la solicitud por parte de Agrícola Cerro Prieto de mantener el mismo esquema de los campos que ya están instalados, se determinó los siguientes parámetros en una válvula o lote típico:

- Largo del lote típico: se consideró 125 m., esta longitud nos proporciona mayor facilidad para realizar las actividades mecanizadas de cosecha, poda, riego, etc.
- Ancho de lote típico: se consideró 320 m., se tomó en cuenta esta longitud para dimensionar los 4 turnos de manera equitativa.
- Área de lote típico: $125 \text{ m.} \times 320 \text{ m.} = 40\,000 \text{ m}^2 = 4 \text{ has.}$
- Distribución de lotes: para la distribución de lotes o válvulas se tuvo en cuenta la geometría del terreno, con la finalidad de que en toda el área del proyecto salga la mayor cantidad de lotes típicos; de esta manera nos facilitó realizar los cálculos hidráulicos de manera rápida; que todos los turnos tengan áreas similares con el fin de mantener caudales similares; además se consideró también la orientación cardinal de las hileras.

Para nuestro proyecto se determinó que la orientación sería de Este a Oeste, logrando así obtener la mayor cantidad de horas luz para el cultivo.

En la Figura 6 se muestra el diseño geométrico de una válvula o lote típico:

Figura 6*Diseño geométrico de válvula o lote típico*

Nota. La figura muestra el diseño geométrico de una válvula típica. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

A continuación, en la figura 7 se muestra la distribución de turnos de riego por cada módulo.

Figura 7

Distribución de turnos de riego por módulo

	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	TURNO 4
MÓDULO 7	VAL. 1	VAL. 2	VAL. 3	VAL. 4
	VAL. 5	VAL. 6	VAL. 7	VAL. 8
	VAL. 9	VAL. 10	VAL. 11	VAL. 12
	VAL. 13	VAL. 14	VAL. 15	VAL. 16
	VAL. 17	VAL. 18	VAL. 19	VAL. 20
	VAL. 21	VAL. 22	VAL. 23	VAL. 24
	VAL. 25	VAL. 26	VAL. 27	VAL. 28
MÓDULO 8	VAL. 1	VAL. 2	VAL. 3	VAL. 4
	VAL. 5	VAL. 6	VAL. 7	VAL. 8
	VAL. 9	VAL. 10	VAL. 11	VAL. 12
	VAL. 13	VAL. 14	VAL. 15	VAL. 16
	VAL. 17	VAL. 18	VAL. 19	VAL. 20
	VAL. 21	VAL. 22	VAL. 23	
	VAL. 25	VAL. 26	VAL. 27	
	VAL. 29			

Nota. La figura muestra la distribución de los turnos de riego por cada módulo. Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que cada turno de riego cuenta con un grupo de válvulas de 4 has. cada una en promedio; además, los turnos de riego están separados por calles de 6 m. de longitud, facilitando una mejor operación de maquinaria agrícola.

4.4. Diseño hidráulico

En esta parte se realizó los dimensionamientos y cálculos hidráulicos de los laterales de riego, válvulas hidráulicas y de control, red de tuberías, cabezal de riego y el sistema de inyección de fertilizante, ver Anexo 3; además se consideró la siguiente equivalencia de presión; donde, un bar es equivalente a diez metros por columna de agua (m.c.a.):

$$1 \text{ bar} = 10 \text{ m.c.a.}$$

4.4.1. Criterio de velocidad

Teóricamente las tuberías de conducción de agua para la agricultura en un sistema de riego presurizado se manejan con un rango de velocidad que oscila entre 0.5 a 2.5 m/s., los valores varían de acuerdo a la calidad de agua, fertilizante y al criterio del diseñador.

- Tubería porta-regantes: el valor asignado en tuberías porta regantes o también llamadas tuberías divisoras es de 0.5 – 2.3 m/s., asegurando con estos valores que no se formen precipitados dentro de las tuberías.
- Tubería matriz: considerando que se puede trabajar hasta 2 m/s, siempre y cuando sean tramos relativamente cortos para evitar muchas pérdidas por fricción y sobre todo evitar los riesgos de golpe de ariete.
- Tuberías aductoras: se consideró una velocidad promedio de 1.6 m/s, esto con el fin de garantizar la menor pérdida por fricción y evitar efectos de golpe de ariete debido al elevado flujo que se transporta; generalmente se trabaja con estos valores al ser tubería de grandes diámetros (500 o 630 mm.) con caudales superiores a 1 000 m³/h.

4.4.2. Criterio de seguridad

Teniendo en cuenta que usamos goteros auto compensados y analizando que, según ficha técnica del gotero, este compensa a partir de 0.5 bar.; en el presente trabajo se consideró por seguridad la presión mínima en el último gotero de 1 bar.

4.4.3. Cálculo del lateral de riego

Para la manguera seleccionada en nuestro proyecto: manguera autocompensada 16 mm, clase 15 mil, 1.6 lph, 0.4 m, se realizó el análisis según su ficha técnica para corroborar si cumplimos geométrica e hidráulicamente con los requerimientos técnicos del lateral del riego, como son mostrados en las Figuras 8 y 9.

Figura 8

Datos técnicos del lateral de riego

MODELO	DÍAMETRO INTERNO (mm)	ESPESOR DE LA PARED (mm)	DÍAMETRO EXTERNO (mm)	MÁXIMA PRESIÓN DE TRABAJO (bar)	KD
16250	15.4	0.63	16.66	2	0.4
16200	15.6	0.5	16.6	1.8	0.4
16150	16.2	0.38	19.96	1.8	0.4
16125	16.2	0.31	16.82	1.4	0.4

Nota. Esta figura muestra los datos técnicos acerca de las tuberías al usar riego por goteo.

Fuente: datos tomados de Netafim (s.f.).

De la Figura 8 se deduce, que la manguera presenta las siguientes características:

- Diámetro interno: 16.20 mm
- Diámetro externo: 16.96 mm
- Espesor de la pared: 0.38 mm
- Máxima presión de trabajo: 1.8 bar

Figura 9*Datos técnicos del lateral de riego*

DripNet PC™16150 - I.D. 16.2 mm. - Kd 0.40 - Presión de entrada 1.6 bar						
Máxima longitud de laterales (metros) a presión definida en la entrada						
CAUDAL (lph)	ESPACIAMIENTO ENTRE GOTERO					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.6	123	224	311	389	461	
1.0	88	160	223	28		
1.6	65	118	1			
2.0	56					
3.0						
3.8						

Nota. De acuerdo a las características de nuestro gotero la longitud máxima usada en nuestro proyecto es 125 m.; por tanto, está dentro del rango permitido (206 m.). Fuente: tomado de Netafim (s.f.).

Posteriormente haciendo uso de la herramienta virtual HydroCalc 3.0 de Netafim, como es mostrado en la Figura 10; se calculó la pérdida de presión para un lateral de 125 m. asumiendo que la presión al final de la manguera del lado crítico debe ser 10 m.c.a.; esto en función de garantizar la compensación y uniformidad del gotero.

Figura 10

Resultados del cálculo del lateral con HydroCalc 3.0



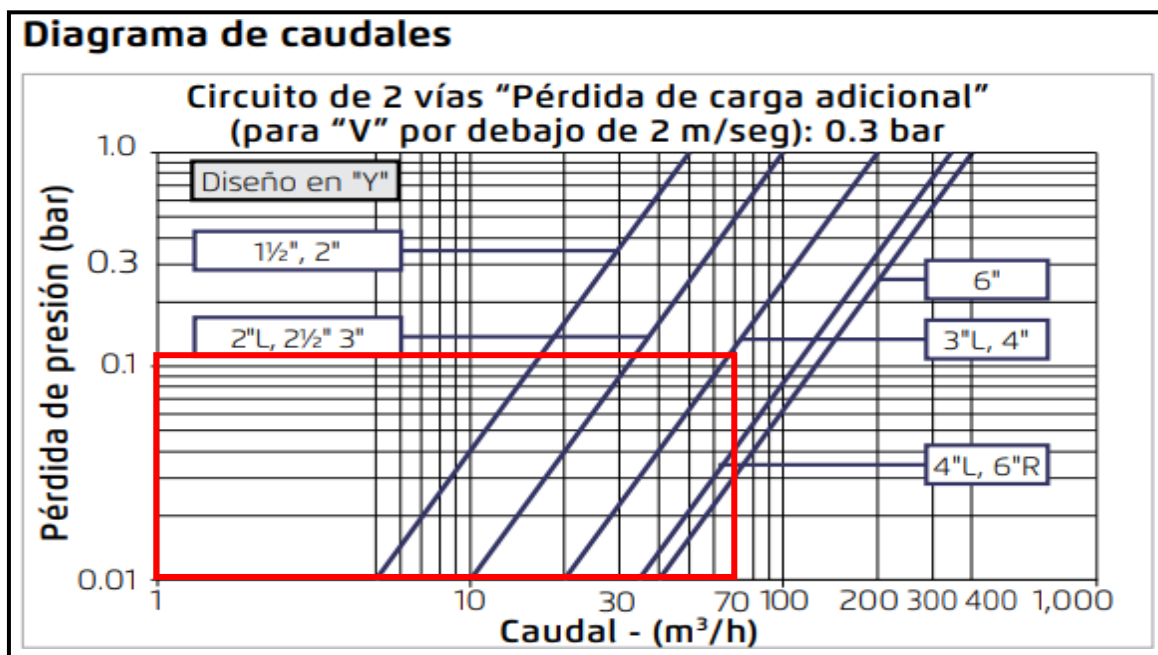
Nota. De acuerdo a los resultados obtenidos se asume que para un lateral de riego de 125 m. de longitud se pierde 2. 91 m.c.a. de presión. Fuente: elaboración propia.

4.4.4. Selección y cálculo de la válvula hidráulica

Teniendo en cuenta que la válvula típica tiene un caudal de $69 \text{ m}^3/\text{h}$. revisamos la curva de trabajo de las válvulas que contengan el caudal que requerimos para identificar el modelo, tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Diagrama de caudales de la válvula hidráulica



Nota. La figura muestra el diagrama de caudales. Fuente: tomado de BERMAD (2019).

Tabla 6

Pérdidas de presión en la válvula 3" - L

MÓDULO	CAUDAL m³/h	PÉRDIDAS bar.
Módulo 7-8	69.0	0.12

Nota. En esta tabla se muestra la pérdida por fricción en la válvula hidráulica. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo al caudal deseado y según el diagrama de caudales el modelo que más se ajusta es la válvula de 3" - L; lo cual con un caudal de operación de 69 m³/h, tiene una pérdida de presión de 0.12 bar, de acuerdo a lo que indica la Tabla 6.

4.4.5. Dimensionamiento de tubería porta regante

Para el cálculo y dimensionamiento de la tubería porta regante o divisora, gracias a que el terreno no tenía pendientes muy pronunciadas se tomó la decisión de instalar la válvula hidráulica en la mitad del lote; de esta forma la longitud total de la porta regante se dividió en 2 partes con longitudes congruentes.

Se ha utilizado el modelo telescópico en la tubería porta regante, el cual consiste en usar diferentes diámetros que van de mayor a menor, esto debido a que en cada tramo va requiriendo menos caudal; además para evitar gastos innecesarios en tuberías de un solo diámetro. Por tanto, teniendo en cuenta las dimensiones de una válvula o lote típico; así como, las dimensiones de las diversas tuberías que se ha utilizado para el cálculo, como es mostrado en las Tablas 7 y 8, y dimensionamiento de la porta regante que es mostrado en la Tabla 9 y la Figura 12, nos hemos guiado de los datos técnicos de las tuberías y también se ha usado la herramienta virtual HydroCalc 3.0 de Netafim (Figuras 13 y 14).

Tabla 7*Diámetros y longitudes de tuberías con presión nominal 5 bar (PN 5)*

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	LONGITUD TOTAL (m)	LONGITUD ÚTIL (m)	ESPESOR (mm)
63	63.0	59.80	6.0	5.88	1.60
75	75.0	71.20	6.0	5.87	1.90
90	90.0	85.60	6.0	5.86	2.20
110	110.0	104.60	6.0	5.85	2.70
140	140.0	133.00	6.0	5.84	3.50
160	160.0	152.00	6.0	5.83	4.00
200	200.0	190.20	6.0	5.82	4.90
250	250.0	237.60	6.0	5.79	6.20
315	315.0	299.60	6.0	5.77	7.70
355	355.0	337.60	6.0	5.75	8.70
400	400.0	380.40	6.0	5.73	9.80
450	450.0	428.00	6.0	5.70	11.00
500	500.0	475.40	6.0	5.65	12.30
630	630.0	599.20	6.0	5.62	15.40

Nota. En esta tabla son mostradas las dimensiones de las tuberías. Fuente: tomado de Eurotubo (2012).

Tabla 8*Diámetros y longitudes de tuberías con presión nominal 7.5 bar (PN 7.5)*

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	LONGITUD TOTAL (m)	LONGITUD ÚTIL (m)	ESPESOR (mm)
63	63.0	58.40	6.0	5.88	2.30
75	75.0	69.40	6.0	5.87	2.80
90	90.0	83.40	6.0	5.86	3.30
110	110.0	102.00	6.0	5.85	4.00
140	140.0	129.80	6.0	5.84	5.10
160	160.0	148.40	6.0	5.83	5.80
200	200.0	185.40	6.0	5.82	7.30
250	250.0	231.80	6.0	5.79	9.10
315	315.0	292.20	6.0	5.77	11.40
355	355.0	392.20	6.0	5.75	12.90
400	400.0	371.00	6.0	5.73	14.50
450	450.0	417.40	6.0	5.70	16.30
500	500.0	463.80	6.0	5.65	18.10
630	630.0	584.40	6.0	5.62	22.80

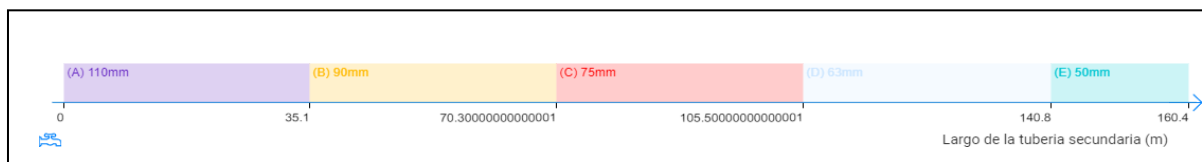
Nota. En esta tabla se muestran las dimensiones de las tuberías. Fuente: tomado de Eurotubo (2012).

Tabla 9*Cálculo de diámetros de tubería porta regante*

Diámetro	Longitud Efectiva (m)	Diám. Int. (mm)	Longitud (m)	N° de tubos	Perdidas por fricción (m.c.a.)	Velocidad (m/s)
110 mm	5.85	104.8	35.1	6.0	0.31	1.11
90 mm	5.86	85.6	35.2	6.0	0.49	1.29
75 mm	5.87	71.2	35.2	6.0	0.59	1.31
63 mm	5.88	59.8	35.3	6.0	0.40	1.09
1,5 pulg	4.89	46.5	19.6	4.0	0.06	0.51
Total			160.3	28.0	1.85	1.06

Nota. En esta tabla está detallada la forma en cómo se calculan los diámetros de la tubería. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta estos valores se procede a insertarlos en el HydroCalc 3.0 para su cálculo respectivo.

Figura 12*Esquema de porta regante con diversos diámetros de tubería en una válvula o lote típico.*

Nota. La figura indica los diámetros de la tubería, los cuales son de 110, 90, 75, 63 y 50 mm.

Fuente: elaboración propia.

Figura 13

Resultados de la tubería porta regante.



Nota: De acuerdo a los resultados obtenidos la pérdida de presión en la tubería porta regante es de 1.85 m.c.a. Fuente: tomado de HydroCalc 3. 0, Netafim (s.f.).

Figura 14

Detalles del cálculo de la porta regante obtenidos con HydroCalc 3.0.

	Sección A	Sección B	Sección C	Sección D	Sección E
Secciones de la tubería	PVC 5	PVC 5	PVC 5	PVC 5	PVC 6
Perdida de presion (m)	0.31	0.49	0.59	0.4	0.06
Presión máx. (m)	14.76	14.45	13.96	13.37	12.97
Presión min. (m)	14.45	13.96	13.37	12.97	12.91
Largo del tubo (m)	35.1	35.2	35.2	35.3	19.6
Diametro del tubo (mm)	110	90	75	63	50
Presion de entrada (m)	14.76	14.45	13.96	13.37	12.97
Presion al final (m)	14.45	13.96	13.37	12.97	12.91
Caudal maximo (al comienzo) (m³/h)	34.5	26.66	18.82	10.98	3.14
Velocidad Maxima (m/s)	1.11	1.29	1.31	1.09	0.51

Nota. La figura indica que se han usado 5 diámetros para nuestra tubería porta regante, cuyas velocidades están dentro del rango permitido. Fuente: tomado de HydroCalc 3. 0, Netafim (s.f.).

Tabla 10*Requerimiento de presión antes de válvula hidráulica.*

REQUERIMIENTO DE PRESIÓN	m.c.a.
Presión final del lateral de goteo	10.0
Presión inicio lateral del goteo	12.9
Presión de válvula regulada	14.8
Pérdida de presión válvula y accesorios	1.2
Presión antes de válvula	16.0

Nota. En la tabla se indica que la presión de entrada requerida, fue de 14.76 m.c.a.; por tanto, se considera solamente tuberías en clase 5 o PN 5. Fuente: elaboración propia.

4.4.6. Cálculo de tuberías aductoras

Teniendo en cuenta que el filtrado que abasteció nuestro proyecto ya contaba con 4 módulos de riego, los cuales han sido abastecidos de agua por 2 líneas aductoras que trabajando en su máximo caudal sugerido acumularon un total de 3,200 m³/h; por tanto, con los caudales adicionales del nuevo proyecto para el módulo 7 y módulo 8 se requiere un caudal de 4,173 m³/h, esto nos condiciona a tener que instalar una línea aductora adicional para suplir el caudal requerido.

Considerando el caudal total requerido y contemplando que por criterio de seguridad no podemos trabajar al límite de la capacidad de abastecimiento de agua de las aductoras se instalará otra tubería de 630 mm con una capacidad de 1,600 m³/h de caudal máximo sugerido, acumulando con esto 4,800 m³/h, lo cual representaría que la capacidad de uso de aducción solamente sería un 87 % y se puede apreciar en la Tabla 11.

Tabla 11*Cálculo de tuberías aductoras.*

DETALLE	CAUDAL(m ³ /h)					
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 6	Módulo 7	Módulo 8
Cultivo	786	620	693	573	576	607
Aspersión	26	25	25	25	27	
Hidrantes	30	30	30	30	35	35
Caudal por módulo	842	675	748	628	638	642
Caudal total requerido					(m ³ /h)	4,173
Línea 1 existente de 630 mm con máximo caudal sugerido					(m ³ /h)	1,600
Línea 2 existente de 630 mm con máximo caudal sugerido					(m ³ /h)	1,600
Caudal total disponible					(m ³ /h)	3,200
Línea 3 nueva de 630 mm con máximo caudal sugerido					(m ³ /h)	1,600
Caudal total disponible + línea 3					(m ³ /h)	4,800
Capacidad de uso de aducción					(m ³ /h)	87%

Nota. En esta tabla se muestra de manera detallada el cálculo de las tuberías aductoras.

Fuente: elaboración propia.

4.4.7. Cálculo de la pérdida de cargas por fricción en tubería aductora

Para realizar el cálculo de la pérdida de carga por fricción en la tubería aductora se usó la ecuación de Hazen y Williams (Cucho, 2018):

$$H_f = 1.131 \times 10^9 (L) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{4.87}$$

Donde:

L = Longitud de tubería (m).

Q = Caudal de la tubería (m³/h).

C = Coeficiente de fricción (adimensional).

D = Diámetro interno de tubería (mm).

También se realizó el cálculo de la velocidad del agua expresada en m/s con la siguiente fórmula:

d : Diámetro interno tubería (m) Q

w : Rango de flujo del líquido (m³/h)v

: Velocidad del agua (m/s)

$$v = \frac{Q_w}{3600\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Tabla 12

Cálculo de pérdidas por fricción en tubería aductora.

TRAMO	DIÁM. NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m.c.a.)
1	630	5.0	599	800	1,600	150	1.6	2.2
2	630	7.5	590	1,300	1,600	150	1.6	3.5

Nota. La tabla indica que la pérdida de presión en todo el tramo es de 5.7 m.c.a. Fuente: elaboración propia.

Tabla 13

Cálculo de presión disponible a la entrada del filtrado.

DETALLE	CANTIDAD
Cota del reservorio (m)	122
Cota del filtrado (m)	62
Pérdidas de presión en tubería aductora (m)	5.7
Presión disponible a la entrada del filtrado (m)	54.3

Nota. Teniendo en cuenta la pérdida de presión en el tramo de la tubería aductora, en esta tabla se calculó la presión disponible que tenemos a la entrada del filtrado. Fuente: elaboración propia.

Tabla 14

Cálculo de presión disponible a la salida del filtrado.

PRESIÓN	CANTIDAD
Presión por gravedad (m.c.a.)	54.3
Pérdidas en el cabezal (m.c.a.)	10.0
Presión salida de filtrado (m.c.a.)	44.3

Nota. Teniendo en cuenta la pérdida de presión en el tramo de la tubería aductora, se calculó la presión disponible a la salida del filtrado en esta tabla. Fuente: elaboración propia.

El valor de 10 m.c.a. como pérdidas de presión en el cabezal de riego engloba todos los componentes como: filtros de graba, medidores de caudal, válvulas de aire, válvula reguladora - sostenedora de presión, etc., que en su conjunto las sumas de pérdidas de presión de todos éstos llegan a 5 m.c.a. aproximadamente, pero por criterio de seguridad se considera 10 m.c.a.

4.4.8. Cálculo de tubería matriz

Teniendo en cuenta que en el filtrado tenía presión de salida disponible de 44.3 m.c.a.; además, la pendiente desde filtrado hacia las válvulas del proyecto es positiva; lo cual, resulta favorable para que el sistema de riego funcione por gravedad sin la necesidad de utilizar electrobombas. Para ello se calculó la tubería matriz para los turnos más críticos (Tabla 15 y 16), considerando el turno de mayor caudal y el turno más crítico por presión o más cercano al filtrado (Figura 16); siendo:

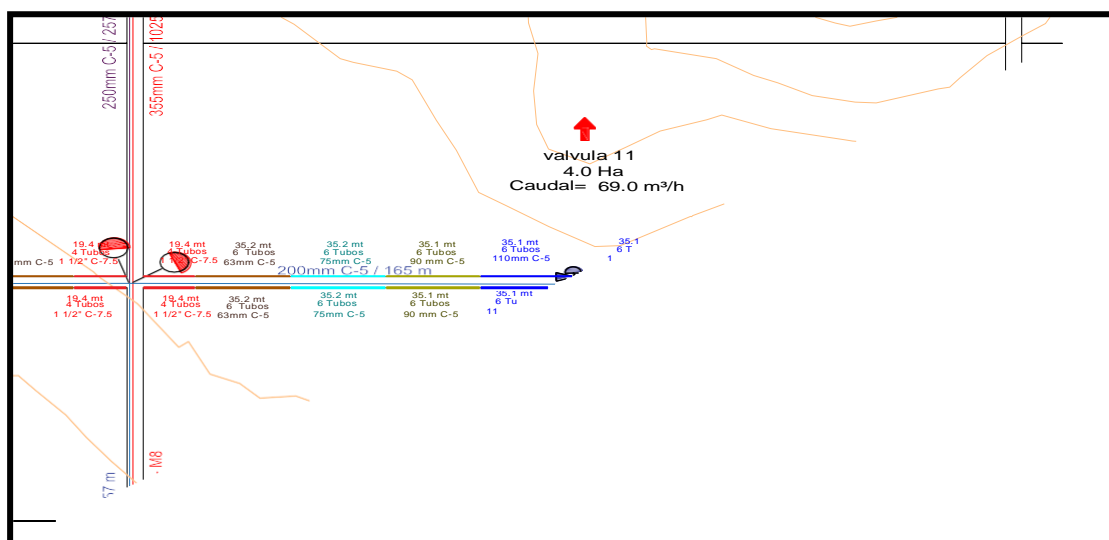
- Turno crítico por presión (más cercano al filtrado): Módulo 7, turno 4
- Turno crítico por caudal: Módulo 8, turno 1.

Se realizó el cálculo de la red hidráulica para cada turno de riego mencionado considerando que las pendientes no superan el 1%; por lo que, se consideró dentro del diseño que

las direcciones del flujo de las mangueras de riego (Figura 15) se instalen a favor y en contra de la pendiente. Esto con la finalidad de reducir costo en tuberías; ya que, se instaló una matriz en común para 2 válvulas regando en 2 direcciones. Ver Anexo 3.

Figura 15

Orientación del flujo de las mangueras



Nota. En esta figura se puede apreciar de manera esquemática la orientación del flujo de mangueras. Fuente: Agrícola Cerro Prieto.

Tabla 15

Cantidad de tubería matriz según diámetro – Módulo 7.

DIÁMETRO TUBERÍA (mm)	CLASE (PN)	LONGITUD (m)	TUBOS (6 M)
355	5	728	130
315	5	257	50
250	5	257	50
200	5	1,235	220
160	5	2,443	435
90	5	1,127	200
Metraje de zanjás		6,228	1,084

Nota. En esta tabla se muestran las dimensiones de la tubería matriz del módulo 7. Fuente: elaboración propia.

Tabla 16

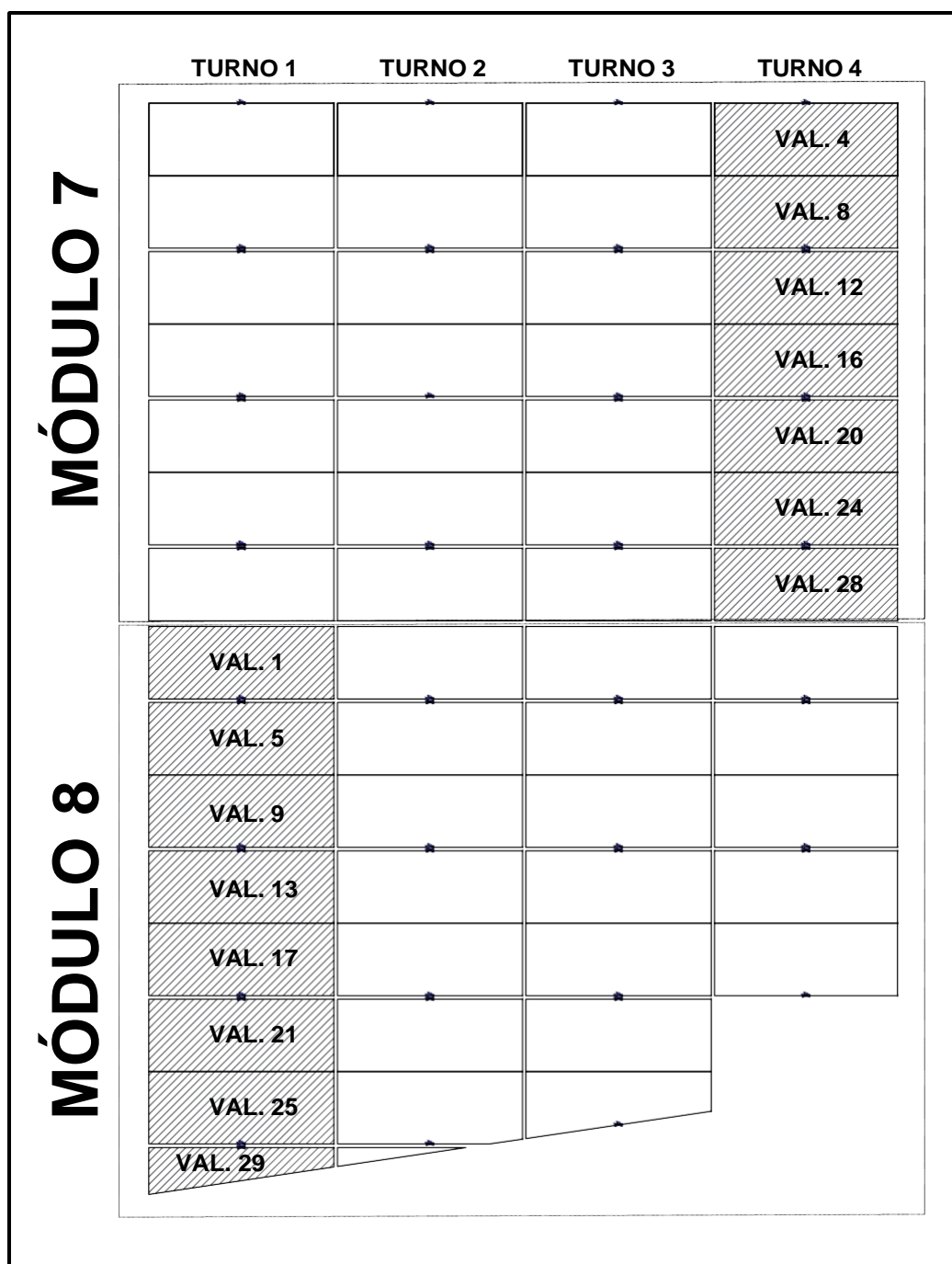
Cantidad de tubería matriz según diámetro – Módulo 8.

DIÁMETRO TUBERÍA (mm)	CLASE (PN)	LONGITUD (m)	TUBOS (6 M)
355	5	1,778	320
315	5	257	50
250	5	257	50
200	5	1,235	220
160	5	2,610	465
140	5	330	60
90	5	1,288	230
Metraje de zanjas		7,988	1,395

Nota. En esta tabla se muestran las dimensiones de la tubería matriz del módulo 8. Fuente: elaboración propia.

4.4.9. Identificación de turnos críticos

A continuación, se muestra el turno crítico por presión, así como el turno crítico por caudal (Figura 16). Además del cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías matriz de turno crítico por presión (Tabla 17) y el cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías matriz de turno crítico por caudal (Tabla 18).

Figura 16*Ubicación de turnos críticos*

Nota. En esta figura se presenta el esquema del turno crítico por presión (más cercano al filtrado):

M7 T7 y el turno crítico por caudal (mayor caudal): M8 T1. Fuente: elaboración propia.

Tabla 17

Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías matriz de turno crítico por presión.

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T4-V4	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	44.1	61	61	0	42.9
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	42.9	61	61	0	41.1
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	41.1	61	61	0	38.2
	ACCESORIOS						150		0.7					37.4
T4-V8	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	MATRIZ 2	355	5	337.6	490	404.2	150	1.3	1.7	44.1	61	61	0	42.4
	MATRIZ 3	315	5	299.6	257	404.2	150	1.6	1.6	42.4	61	57	4	44.8
	MATRIZ 4	200	5	190.2	490	135.6	150	1.3	3.7	44.8	57	58	-1	40.2
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	40.2	58	58	0	39.0
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	39.0	58	59	-1	36.1
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	36.1	58	58	0	33.2
	ACCESORIOS						150		1.4					31.8
T4-V12	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	MATRIZ 2	355	5	337.6	490	404.2	150	1.3	1.7	44.1	61	61	0	42.4
	MATRIZ 3	315	5	299.6	257	404.2	150	1.6	1.6	42.4	61	57	4	44.8
	MATRIZ 4	200	5	190.2	490	135.6	150	1.3	3.7	44.8	57	58	-1	40.2
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	40.2	58	58	0	39.0
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	39.0	58	59	-1	36.1
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	36.1	58	59	-1	32.2
	ACCESORIOS						150		1.4					30.8

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T4-V16	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	MATRIZ 2	355	5	337.6	490	404	150	1.3	1.7	44.1	61	61	0	42.4
	MATRIZ 3	315	5	299.6	257	404	150	1.6	1.6	42.4	61	57	4	44.8
	MATRIZ 4	250	5	237.6	257	267	150	1.7	2.3	44.8	57	54	3	45.6
	MATRIZ 5	200	5	190.2	490	136	150	1.3	3.7	45.6	54	57	-3	38.9
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	38.9	57	57	0	37.7
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	37.7	57	58	-1	34.8
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	34.8	57	57	0	31.9
	ACCESORIOS						150		1.6					30.3
T4-V20	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	MATRIZ 2	355	5	337.6	490	404	150	1.3	1.7	44.1	61	61	0	42.4
	MATRIZ 3	315	5	299.6	257	404	150	1.6	1.6	42.4	61	57	4	44.8
	MATRIZ 4	250	5	237.6	257	267	150	1.7	2.3	44.8	57	54	3	45.6
	MATRIZ 5	200	5	190.2	490	136	150	1.3	3.7	45.6	54	57	-3	38.9
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	38.9	57	57	0	37.7
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	37.7	57	58	-1	34.8
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	34.8	57	57	0	31.9
	ACCESORIOS						150		1.6					30.3

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T4-V24	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	MATRIZ 2	355	5	337.6	490	404	150	1.3	1.7	44.1	61	61	0	42.4
	MATRIZ 3	315	5	299.6	257	404	150	1.6	1.6	42.4	61	57	4	44.8
	MATRIZ 4	250	5	237.6	257	267	150	1.7	2.3	44.8	57	54	3	45.6
	MATRIZ 5	200	5	190.2	257	131	150	1.3	1.8	45.6	54	53	1	44.8
	MATRIZ 6	200	5	190.2	490	131	150	1.3	3.4	44.8	53	56	-3	38.3
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	38.3	56	56	0	37.1
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	37.1	56	56	0	35.3
	LATERAL GOTEO				125		150		2.9	35.3	56	57	-1	31.4
	ACCESORIOS						150		1.8					29.6
T4-V28	MATRIZ 1	355	5	337.6	264	472	150	1.5	1.2	44.3	62	61	1	44.1
	MATRIZ 2	355	5	337.6	490	404	150	1.3	1.7	44.1	61	61	0	42.4
	MATRIZ 3	315	5	299.6	257	404	150	1.6	1.6	42.4	61	57	4	44.8
	MATRIZ 4	250	5	237.6	257	267	150	1.7	2.3	44.8	57	54	3	45.6
	MATRIZ 5	200	5	190.2	257	131	150	1.3	1.8	45.6	54	53	1	44.8
	MATRIZ 6	200	5	190.2	490	131	150	1.3	3.4	44.8	53	56	-3	38.3
	VALVULA 3"	90				68	150		1.2	38.3	56	56	0	37.1
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	37.1	56	56	0	35.3
	LATERAL GOTEO				125		150		2.9	35.3	56	57	-1	31.4
	ACCESORIOS						150		1.8					29.6

Nota. Para obtener las cotas se trabajó con curvas de nivel de nuestro plano topográfico y ubicación de cada válvula. Fuente: elaboración propia.

Tabla 18

Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en tuberías matriz de turno crítico por caudal

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T1-V1	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	200	5	190.2	165	140	150	1.4	1.3	44.7	52	49	3	46.4
	MATRIZ 3	160	5	152.0	326	140	150	2.1	7.7	46.4	49	48	1	39.7
	VALVULA 3"	90				69	150		1.2	39.7	48	48	0	38.5
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	38.5	48	47	1	37.7
	LATERAL GOTEÓ				125		150		2.9	37.7	48	49	-1	33.7
	ACCESORIOS						150		2.5					31.3
T1-V5	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	200	5	190.2	165	140	150	1.4	1.3	44.7	52	49	3	46.4
	MATRIZ 3	160	5	152.0	326	140	150	2.1	7.7	46.4	49	48	1	39.7
	VALVULA 3"	90				69	150		1.2	39.7	48	48	0	38.5
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	38.5	48	47	1	37.7
	LATERAL GOTEÓ				125		150		2.9	37.7	48	49	-1	33.7
	ACCESORIOS						150		2.5					31.3

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN PRESIÓN INICIAL (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T1-V9	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	315	5	299.6	257	377	150	1.5	1.4	44.7	52	50	2	45.3
	MATRIZ 3	200	5	190.2	165	140	150	1.4	1.3	45.3	50	47	3	47.0
	MATRIZ 4	160	5	152.0	326	140	150	2.1	7.7	47.0	47	45	2	41.3
	VALVULA 3"	90				69	150		1.2	41.3	45	45	0	40.1
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	40.1	45	46	-1	37.3
	LATERAL GOTEO				125		150		2.9	37.3	45	45	0	34.4
	ACCESORIOS						150		2.6					31.8
T1-V13	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	315	5	299.6	257	377	150	1.5	1.4	44.7	52	50	2	45.3
	MATRIZ 3	200	5	190.2	165	140	150	1.4	1.3	45.3	50	47	3	47.0
	MATRIZ 4	160	5	152.0	326	140	150	2.1	7.7	47.0	47	45	2	41.3
	VALVULA 3"	90				69	150		1.2	41.3	45	45	0	40.1
	PORTAREGANTE	Telescop.	5	Varios			150		1.9	40.1	45	46	-1	37.3
	LATERAL GOTEO				125		150		2.9	37.3	45	45	0	34.4
	ACCESORIOS						150		2.6					31.8

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T1-V17	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	315	5	299.6	257	377	150	1.5	1.4	44.7	52	50	2	45.3
	MATRIZ 3	250	5	237.6	257	237	150	1.5	1.8	45.3	50	49	1	44.5
	MATRIZ 4	200	5	190.2	165	140	150	1.4	1.3	44.5	49	47	2	45.2
	MATRIZ 5	160	5	152.0	326	140	150	2.1	7.7	45.2	47	44	3	40.5
	VALVULA 3"	90				69	150		1.2	40.5	44	44	0	39.3
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	39.3	44	45	-1	36.4
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	36.4	44	44	0	33.5
	ACCESORIOS						150		2.8					30.7
T1-V21	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	315	5	299.6	257	377	150	1.5	1.4	44.7	52	50	2	45.3
	MATRIZ 3	250	5	237.6	257	237	150	1.5	1.8	45.3	50	49	1	44.5
	MATRIZ 3	200	5	190.2	257	97	150	0.9	1.0	44.5	49	48	1	44.4
	MATRIZ 4	160	5	152.0	165	97	150	1.5	2.0	44.4	48	45	3	45.5
	MATRIZ 5	160	5	152.0	326	97	150	1.5	3.9	45.5	45	43	2	43.6
	VALVULA 3"	90				69	150		1.2	43.6	43	43	0	42.4
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	42.4	43	43	0	40.5
	LATERAL GOTEIO				125		150		2.9	40.5	44	44	0	37.6
	ACCESORIOS						150		2.6					35.1

TURNO - VÁLVULA	TRAMO	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE (PN)	DIÁM. INTERNO (mm)	LONGITUD DEL TRAMO (m)	CAUDAL (m³/h)	FACTOR DE FRICCIÓN	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA PRESIÓN (m)	PRESIÓN INICIAL (m)	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	DELTA (m)	PRESIÓN DINÁMICA FINAL (m)
T4-V25, V29	MATRIZ 1	355	5	337.6	1772	517	150	1.6	9.6	44.3	62	52	10	44.7
	MATRIZ 2	315	5	299.6	257	377	150	1.5	1.4	44.7	52	50	2	45.3
	MATRIZ 3	250	5	237.6	257	237	150	1.5	1.8	45.3	50	49	1	44.5
	MATRIZ 3	200	5	190.2	257	97	150	0.9	1.0	44.5	49	48	1	44.4
	MATRIZ 4	160	5	152.0	165	97	150	1.5	2.0	44.4	48	45	3	45.5
	MATRIZ 5	160	5	152.0	326	97	150	1.5	3.9	45.5	45	43	2	43.6
	VALVULA 3"	90				31	150		1.2	43.6	43	43	0	42.4
	PORTAREGANTE	Telescop	5	Varios			150		1.9	42.4	43	43	0	40.5
	LATERAL GOTEO				125		150		2.9	40.5	44	44	0	37.6
	ACCESORIOS						150		2.6					35.1

Nota. Para obtener las cotas se trabajó con las curvas de nivel de nuestro plano topográfico y la ubicación de cada válvula. Fuente: elaboración propia.

Tabla 19

Resumen de presiones en el turno crítico por presión (módulo 7, turno 4).

VÁLVULA	PRESIÓN ANTES DE VÁLVULA	
	(m.c.a.)	
	REQUERIDA	DISPONIBLE
4	16	37.4
8	16	31.8
12	16	30.8
16	16	30.3
20	16	30.3
24	16	29.6
28	16	29.6

Nota. En esta tabla está indicado que la presión crítica por caudal supera los 29.6 m.c.a., lo que indica que es mucho mayor a la presión requerida, que es de 16 m.c.a. Fuente: elaboración propia.

Tabla 20

Resumen de presiones en el turno crítico por caudal (módulo 8, turno 1)

VÁLVULA	PRESIÓN ANTES DE VÁLVULA	
	(m.c.a.)	
	REQUERIDA	DISPONIBLE
1	16	31.3
5	16	31.3
9	16	31.8
13	16	31.8
17	16	30.7
21	16	35.1
25	16	35.1
29	16	35.1

Nota. En esta tabla está indicado que la presión crítica por caudal supera los 30.7 m.c.a., lo que indica que es mucho mayor a la presión requerida, que es de 16 m.c.a. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a las presiones disponibles antes de válvula hidráulica en cada lote, podemos notar que están muy por encima de la presión requerida, ya que la presión requerida es de 16 m.c.a. sin embargo en el módulo 7, turno 4 está por encima de 29.6 (Tabla 19) y en módulo 8, turno 1 está por encima de 31.3 m.c.a. (Tabla 20); con esto se comprueba que nuestro sistema de riego dependerá básicamente de la presión por gravedad, sin la necesidad de usar electrobombas; por otro lado, nos obliga a instalar válvula reguladora - sostenedora de presión en nuestro filtrado debido al alto rango de presión.

4.4.10. Diseño y selección de los equipos del cabezal de riego

Para lograr el diseño y selección de los equipos es necesario tomar en cuenta los caudales de operación por cada turno y trabajar con el turno de mayor caudal por cada módulo de riego, los cuales ya lo tenemos identificado; además, se debe contemplar los criterios proporcionados por los fabricantes; a continuación, se detalla:

4.4.10.1. Selección y cálculo de filtros. Para la selección de filtros se tuvo en consideración que los caudales por turno son relativamente grandes; además, históricamente hay temporadas del año en las cuales el agua que proviene de la represa Gallito Ciego llega con alto porcentaje de turbidez; por tanto, se tomó la decisión de utilizar filtros de graba, los cuales en comparación con los filtros de malla y anillas son más eficientes para la protección del sistema de riego según las condiciones de agua que presenta ACP. Para ello se previó de las especificaciones técnicas de filtros de graba (Figura 17), así como su distribución (Figura 19).

Figura 17

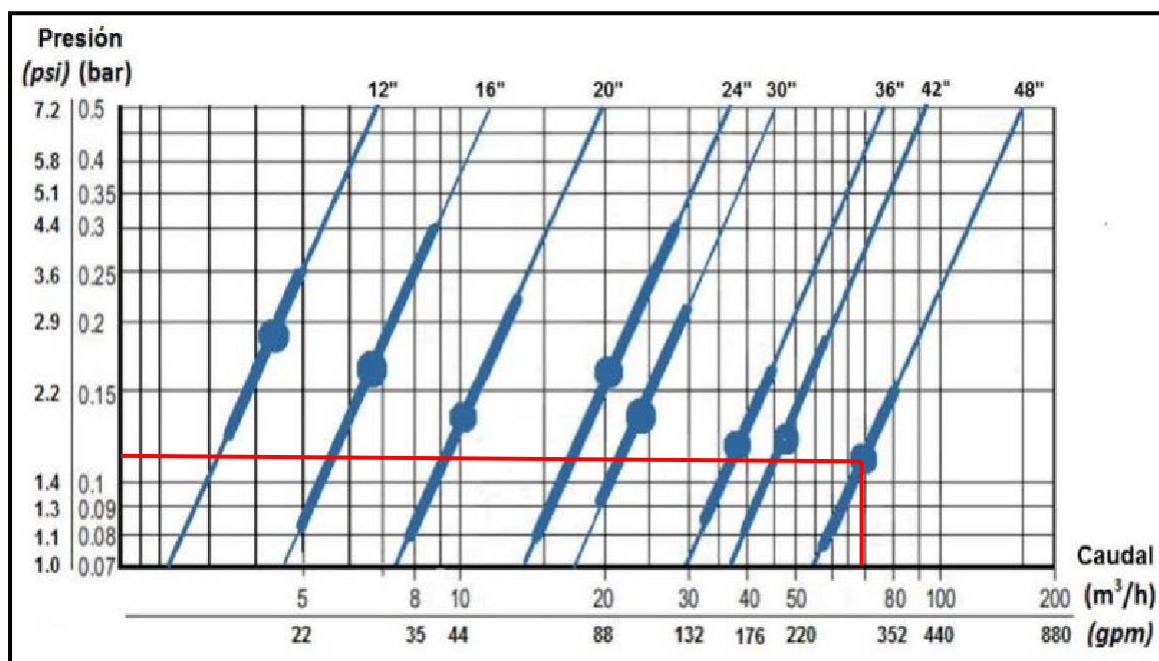
Especificaciones técnicas de filtros de grava serie F600.

Modelo	Diámetro Filtro (in) (mm)		Diámetro de conexión (in) (mm)		Superficie de filtración (m ²)	Cantidad de Grava en sacos de 25 kg (55 lb)	Caudal a la velocidad de filtración			Caudal de retrolavado
							Velocidad de filtración (m/h)*			Velocidad de retrolavado (m/h)**
							45	55	65	85
F605	12	300	1	25	0.07	2	3	4	5	6
F610	16	400	1.5	40	0.12	3	6	7	8	10
F620	20	500	2	50	0.20	5	9	11	13	17
F630	20	500	3	80	0.20	5	9	11	13	17
F635	25	610	2	50	0.30	7	14	17	20	26
F636	25	610	3	80	0.30	7	14	17	20	26
F640	30	750	3	80	0.44	12	20	25	29	37
F650	36	900	3	80	0.63	16	28	35	41	54
F655	42	1050	3	80	0.87	21	39	48	57	74
F660	48	1200	4	100	1.13	23	51	62	74	96

Nota. Esta figura muestra la selección del modelo de filtros F660 de 48"; esto con el fin de usar menor cantidad de filtros en un menor espacio de nuestro filtrado. Fuente: tomado de YAMIT (2021).

Figura 18

Pérdidas de presión a 120 micras



Nota. Esta figura muestra las pérdidas de carga por cada modelo de filtros a 120 micras. Fuente: tomado de YAMIT (2021).

Tabla 21

Pérdidas de presión en filtros de graba de 48"

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	CANTIDAD
Modelo		F660
Diámetro	Pulg.	48
Caudal	m ³ /h	65
Pérdida de presión	m.c.a.	1.2
Pérdida de presión total asumida	m.c.a.	3.6

Nota. En esta tabla podemos notar que, se considera 3 veces más el valor de la pérdida de presión por criterio de seguridad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 22

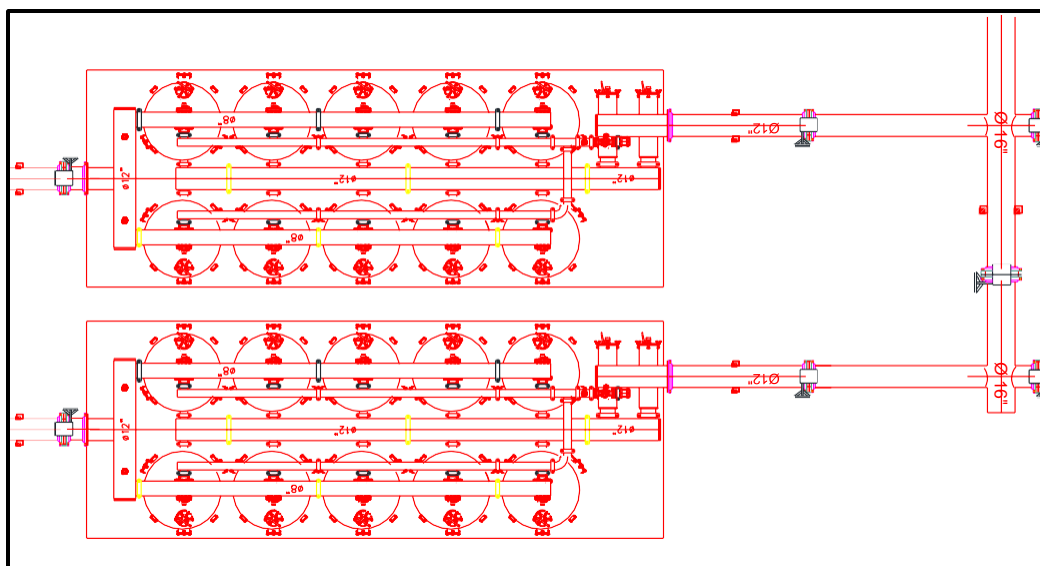
Cálculo de filtros de graba.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	M-7	M-8
Caudal máximo por turno	m ³ /h	480	511
Caudal de retro lavado	m ³ /h	96	96
Caudal total del sistema	m ³ /h	576	607
Caudal total del sistema	lps	160.0	168.7
Diámetro de filtro	pulg	48"	48"
Capacidad nominal del filtro	m ³ /h	65.0	65.0
numero de filtros requeridos	uds.	8.9	9.3
Número de filtros a instalar	uds.	10.0	10.0

Nota. El caudal de retro lavado considerado fue 96 m³/h promedio de los diversos modelos que ofrecen los proveedores; además, se consideró 10 filtros por módulo para que en una avería en los filtros en uno de los módulos se continúe regando. Fuente: elaboración propia.

Figura 19

Distribución de filtros de graba de 48''

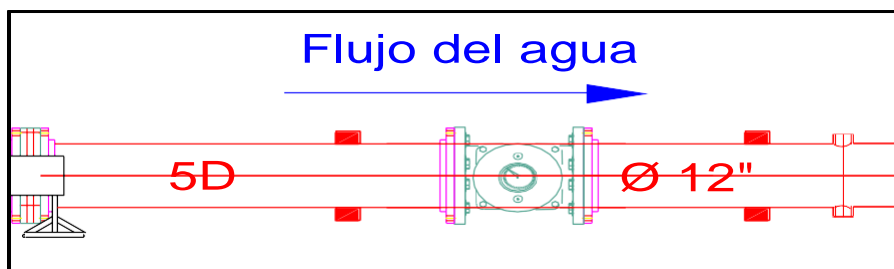


Nota. Tomado de Yamit, s.f.

4.4.10.2. Selección y cálculo del medidor de caudal. Considerando que el máximo caudal es de $511 \text{ m}^3/\text{h}$, se usó un hidrómetro que nos permitirá registrar el caudal de agua instantáneo que circula en nuestro sistema de riego. De acuerdo al caudal de trabajo se usó un hidrómetro de 12'' - 300 mm de diámetro nominal; durante la instalación, para evitar las turbulencias que podrían afectar la precisión de la lectura, el proveedor recomienda disponer de 5 veces el diámetro de tubo recto aguas arriba del medidor, así como es mostrado en la Figura 20.

Figura 20

Longitud de tubería 5D aguas arriba del medidor de caudal.



Nota. En esta figura está esquematizada la tubería 5D. Fuente: elaboración propia.

4.4.10.3. Selección y cálculo de la válvula reguladora y sostenedora de presión.

Tomando en cuenta que tenemos presiones muy altas disponibles en filtrado se utilizó la válvula sostenedora y reductora de presión; la cual, sostiene una presión mínima predeterminada aguas arriba, sin que le afecten las fluctuaciones de caudal o de presión aguas abajo, e impide que la presión aguas abajo se eleve por encima del máximo predefinido, sin que le afecten las fluctuaciones en los caudales ni el aumento excesivo de la presión aguas arriba (BERMAD, 2021).

4.5. Diseño y cálculo de los equipos de fertilización

Considerando que la fertilización en el cultivo de palto de Agrícola Cerro Prieto es directa con una tasa de inyección de 4 l/m³, el sistema de fertirrigación está compuesto por un conjunto de sistemas que a continuación se detallan:

- Sistema de almacenamiento del fertilizante preparado.
- Sistema de inyección y su respectivo control de fertilización.
- Sistema de dilución o pre mezcla de los fertilizantes.

4.5.1. Cálculo y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de fertilizante

Tabla 23

Cálculo de los tanques de almacenamiento:

ELEMENTO	PRODUCTO COMERCIAL	CANTIDAD (l/turno/día)	N° DE TURNOS	N° DE TANQUE	VOLUMEN
N	Nitrato de Amonio	1,103	4	1	7,384
	Sulfato de Amonio	743			
P	Ácido Fosfórico	1,105	4	2	4,420
k	Nitrato de Potasio	4,710	4	3	18,840
ME	Sulfato de Zinc	15,764	4	4	63,056

Nota. Según esta tabla se utilizarán 4 tanques de almacenamiento con capacidad de 10,000 l c/u.; para el caso de los micro elementos (ME) solo se aplicará un día a la semana; por tanto, se utilizará los demás tanques para abastecer el volumen requerido. Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Cálculo del sistema de inyección del fertilizante

Para el cálculo de la inyección del fertilizante nos basamos en el plan anual de fertilización para el cultivo; de esta manera identificamos la semana del año en la que se utiliza mayor cantidad de fertilizante (Tabla 24) y trabajamos en base a ello, determinando la cantidad de fertilizante por producto comercial (Tabla 25).

Tabla 24

Semana con mayor demanda de unidades de fertilizante por hectárea.

ELEMENTO	ENERO				
	UNIDADES DE FERTILIZANTE				
	SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04	SEM 05
Nitrógeno	8.0	8.0	12.0	10.0	12.0
Fósforo	7.0	7.0	7.0	6.0	5.0
Potasio	20.0	22.0	22.0	22.0	16.0
Calcio	2.0			3.0	
Magnesio		3.0		6.0	
Zinc		3.0	6.0		4.0
Boro	0.3		0.5		

Nota. La semana 03 del año es la de mayor demanda. Fuente: elaboración propia.

Seguido a esto realizamos el cálculo de los kilogramos de producto comercial por hectárea de cada elemento teniendo las siguientes consideraciones:

- Área del turno más grande: 57.8 ha
- Solubilidad del producto comercial: 0.1 kg/l

Tabla 25*Cantidades de fertilizante por producto comercial.*

PRODUCTO COMERCIAL	DÍAS APLICADOS	CONSUMO (kg/ha/sem)	CONSUMO (kg/turno/sem)	CONSUMO (kg/turno/día)	CONSUMO (L/turno/día)
Nitrato de Amonio	6	11	662	110	1,103
Sulfato de Amonio	6	8	446	74	743
Ácido Fosfórico	6	11	663	111	1,105
Nitrato de Potasio	6	49	2,826	471	4,710
Sulfato de Zinc	1	27	1,576	1,576	15,764
Ácido Bórico	1	3	170	170	1,700
TOTAL		110	6,343	2,513	25,125

Nota. Los elementos menores solamente se aplican una vez por semana. Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del caudal de inyección considerado la compatibilidad de los fertilizantes los elementos menores serán almacenados en tanques diferentes a los elementos mayores.

- Cálculo del caudal de inyección de los elementos mayores:

$$Q = \frac{A_T}{T \times 0.8} \left(\sum \frac{K_i}{C_i} \right)$$

Donde:

Q: Caudal de inyección (l/h)

A_r: Área neta del turno de riego más grande (ha)

T: Tiempo de riego del turno respectivo (h)

K_i: Fertilizante que se aplica con cada riego (kg/ha)

C_i: Solubilidad de cada fertilizante (kg/l)

0.8: Relación entre el tiempo de fertilización respecto al tiempo de riego

$$Q = \frac{57.8}{4.1 \times 0.8} \left(\left(\frac{110}{\frac{57.8}{0.1}} \right) + \left(\frac{74}{\frac{57.8}{0.1}} \right) + \left(\frac{111}{\frac{57.8}{0.1}} \right) + \left(\frac{471}{\frac{57.8}{0.1}} \right) \right)$$

$$Q = 2,336 \text{ l/h}$$

- Cálculo del caudal de inyección de los elementos menores:

$$Q = \frac{57.8}{4.1 \times 0.8} \times \left(\left(\frac{1576}{57.8} \right) \right)$$

$$Q = 4,806 \text{ l/h.}$$

Por tanto, como son 2 módulos de riego se utilizó 2 electrobombas de inyección de fertilizante por cada tanque de almacenamiento, siendo un total de 8 electrobombas; tal como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Detalles de la selección de electrobombas de inyección

MÓDULO - TURNO	MODELO DE BOMBA	CAUDAL NOMINAL INYC. (l/h)	CAUDAL REQUERIDO INYC. (l/h)	ALTURA (m)	CANTIDAD
7-1	CRN 5-8 / 3HP - 3500 RPM	7,500	4,806	55	4
8-1	CRN 5-8 / 3HP - 3500 RPM	7,500	4,806	55	4

Nota. Se optó por la electrobomba vertical GRUNFOS; es la que más se ajustó al requerimiento.

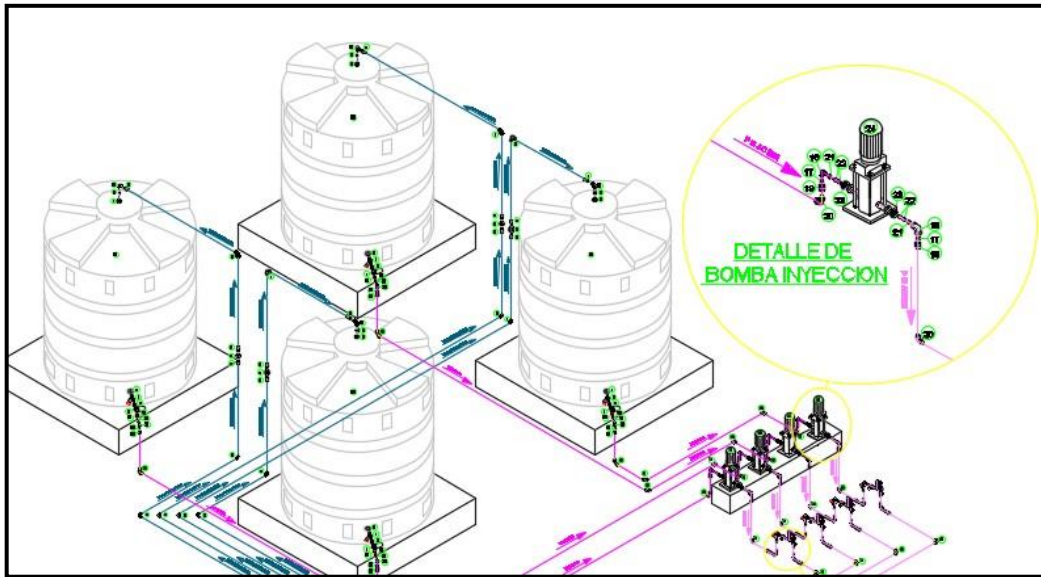
Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Cálculo del sistema de dilución o pre mezcla del fertilizante

Para la preparación de los fertilizantes se usó tres tanques de polietileno con capacidad de 2,500 l, cada uno; además se usó tres electrobombas que sirven para diluir y enviar el fertilizante a los tanques de almacenamiento; el sistema fue acoplado a las electrobombas instaladas anteriormente para otros módulos de riego en el mismo filtrado, así como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Esquema del sistema de almacenamiento e inyección del fertilizante



Nota. En esta figura está esquematizado el sistema de almacenamiento e inyección del fertilizante.

Fuente: tomado de Ipsa Hydro (s.f.).

4.6. Diseño de automatización

La caseta de riego ya contaba con un sistema de automatización; por lo que, para esta etapa sólo nos acoplamos al sistema instalando solamente lo necesario para la automatización del sistema de fertirriego en el módulo 7 y módulo 8.

4.6.1. Controlador de riego

El filtrado 1 cuenta con un DREAM 2; es un controlador de múltiples cabezales de riego puesto que el filtrado estaría contando con 6 líneas de riego; además, está habilitado al internet; esto permitirá controlar todo desde la PC o Smartphone; por tanto, solamente se instaló las expansiones necesarias; tal es el caso, que para nuestro proyecto se instaló solenoides para: válvulas de retro lavado; válvulas normalmente cerradas, medidor de caudal, válvula reguladora – sostenedora de presión, etc.

4.6.2. *Interface RF + antena maestra*

Se consideró una nueva interface de radiofrecuencia + antena maestra puesto que se trabajó con RTU 5G a diferencia de los módulos antiguos que trabajan con RTU 4G. La antena maestra está conectada al programador de riego mediante un cable y es la encargada de recibir y transmitir señales de radiofrecuencia; se comunica con el programador de riego de un lado y con las RTU's 5G en el otro lado.

4.6.3. *RTU RF Modular*

La RTU (Unidad Terminal Remota) de radiofrecuencia modular es la encargada de realizar todo lo que la interface de radiofrecuencia le indique; en este punto finaliza el proceso de comunicación o transmisión remota (Figura 22).

Para la ubicación de las RTU se consideró diversos criterios por seguridad y comodidad de nuestro sistema de automatización:

- Técnicamente las RTU están diseñadas para administrar un rango de salidas que puede ser 2 - 4 - 6 u 8 salidas para válvulas hidráulicas; esto significa que una RTU de 2 salidas controla 2 válvulas hidráulicas.
- La distancia entre los RTU y la válvula hidráulica no sobrepasó los 600 m.
- La distribución del mando hidráulico o manguera ciega de 8 mm, se instaló en las mismas zanjas donde iba tubería matriz y generalmente se instaló en tramos rectos.
- Las RTU se ubicaron en puntos estratégicos contemplando una correcta visualización, de preferencia en los cruces de caminos; además, se instaló cerca de la tubería matriz para poder abastecer de agua a los solenoides y mantener la misma presión de agua en la manguera ciega de 8 mm; logrando así la apertura y cierre de las válvulas hidráulicas.

- Se tuvo en cuenta que la diferencia topográfica a favor entre la RTU y la válvula hidráulica no debe superar los 8 m. puesto que con la presión estática corremos el riesgo de que la válvula hidráulica se apertura en cualquier momento.

Tabla 27*Detalle y cantidad de RTU - Módulo 7*

RTU	SALIDAS DISPONIBLES	SALIDAS UTILIZADAS
RTU 1	4	3
RTU 2	4	3
RTU 3	6	5
RTU 4	6	5
RTU 5	4	4
RTU 6	4	4
RTU 7	6	5
RTU 8	6	5
TOTAL	40	34
GOTEIO		28
ASPERSIÓN		6

Nota. Salidas disponibles y utilizadas en la RTU. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Tabla 28*Detalle y cantidad de RTU - Módulo 8*

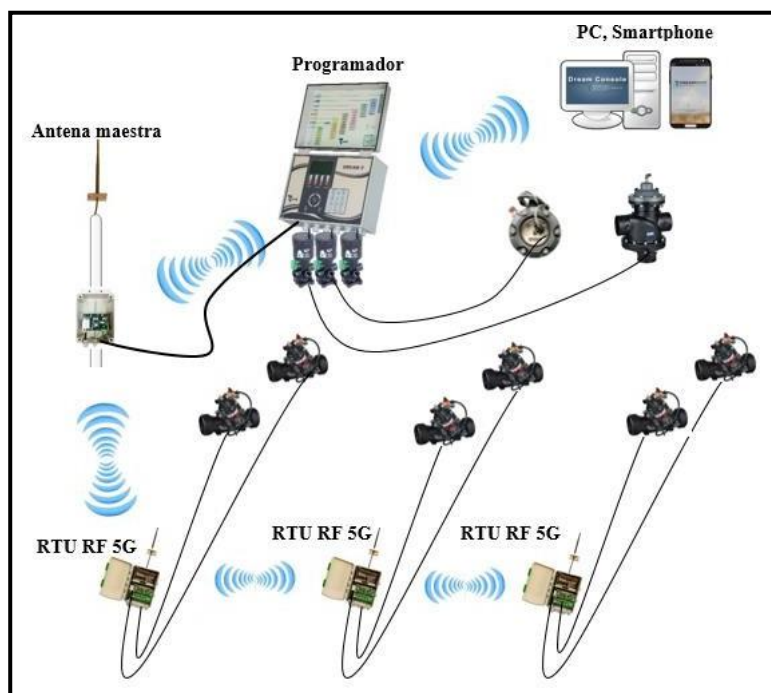
RTU	SALIDAS DISPONIBLES	SALIDAS UTILIZADAS
RTU 1	6	5
RTU 2	6	5
RTU 3	4	4
RTU 4	6	5
RTU 5	6	6
RTU 6	6	5
RTU 7	4	3
Total	38	33
Goteo		27
Aspersión		6

Nota. Salidas disponibles y utilizadas en la RTU. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

El proceso de automatización comienza con el envío de señal por parte del programador de riego hacia la interface RF + antena maestra; a su vez, esta emite la señal hacia los RTU, siendo este el punto en el cual la señal remota se transforma en señal eléctrica, la cual se envía mediante un cable al solenoide o grupo de solenoides ubicados en el mismo punto de RTU. El solenoide es un dispositivo que transforma la señal eléctrica en señal hidráulica de esta manera se permite el paso del agua a través del micro tubo de 8 mm; el cual ha sido instalado desde la tubería matriz cerca del RTU hasta el punto de ubicación de la válvula hidráulica en cada lote para realizar la apertura y cierre de esta, según el tiempo de riego programado; ver Anexo 4.

Figura 22

Esquema del sistema de automatización.



Nota. La figura muestra el esquema de automatización del sistema de riego. Fuente: elaboración propia.

4.7. Operación del sistema de riego en campo

Se realizó el diagnóstico del sistema de riego en campo para verificar y corroborar la operación del sistema; donde, realizamos la calibración de presiones y la evaluación del porcentaje de coeficiente de uniformidad.

Tabla 29

Operación del sistema de riego módulo 7

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TURNO	TURNO	TURNO	TURNO	TOTAL
		1	2	3	4	
Área promedio por turno	has/turno	28.0	28.0	28.0	27.7	111.7
Válvulas totales	uds.	7	7	7	7	28.0
Caudal por turno	m ³ /h	480	480	480	475	480
Precipitación del sistema	mm/h	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
Lámina máxima de riego	mm/día	7	7	7	7	7
Tiempo de riego	h/día	4.1	4.1	4.1	4.1	16.3

Nota. elaboración propia.

Tabla 30

Operación del sistema de riego módulo 8

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TURNO	TURNO	TURNO	TURNO	TOTAL
		1	2	3	4	
Área promedio por turno	has/turno	29.8	28.3	26.9	19.8	104.9
Válvulas totales	uds.	8	7	7	5	27.0
Caudal por turno	m ³ /h	511	486	462	339	511
Precipitación del sistema	mm/h	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
Lámina máxima de riego	mm/día	7	7	7	7	7
Tiempo de riego	h/día	4.1	4.1	4.1	4.1	16.3

Nota. elaboración propia.

En las Tablas 29 y 30 se muestra la distribución de áreas, cantidad de válvulas, tiempo de riego y caudal nominal por cada turno y módulo de riego.

4.7.1. Regulación de presiones

La regulación de presiones se realizó en la caseta de riego como en campo, teniendo en cuenta los siguientes criterios para cada módulo de riego:

4.7.1.1. Regulación de presión del Piloto Sostenedor. Para se aperturó la válvula reguladora con 2 o más turnos de riego con el objetivo que la presión de salida sea menor de 1 bar. Luego de lograr esta presión, se regula el piloto sostenedor de la válvula hidráulica, dejándolo regulado según requerimiento de campo.

4.7.1.2. Regulación de presión del Piloto Regulador. Luego de haber regulado el piloto sostenedor, se realizó la regulación del piloto regulador, para esto se aperturó el turno más crítico según diseño. Se esperó de 5 a 7 minutos para que el caudal del turno se estabilice, y se procedió a regular el piloto sostenedor, dejando regulado la presión de diseño; tal como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31

Calibración en válvula sostenedora – reguladora de presión.

MODULO	PRESIÓN SALIDA A CAMPO	
	DISPONIBLE (m.c.a.)	REGULADA (m.c.a.)
Módulo 7	44.3	27
Módulo 8	44.3	20

Nota. elaboración propia

4.7.1.3. Regulación de presiones campo. La regulación de presiones en campo se realizó asegurando que todas las válvulas del turno estén activadas y que no haya otra válvula ajena al turno que esté regando.

- Se comenzó a regular las presiones 10 minutos después de haber iniciado el riego o de haber cambiado de turno, asegurando que la red de tubería y mangueras estén completamente presurizadas para evitar variaciones de presión y caudal.
- Se consideró 4 mediciones por cada válvula: presión antes de válvula, presión después de válvula, presión al final de manguera Norte: primera hilera y presión al final de manguera Sur: última hilera.
- Teniendo en cuenta que la presión óptima al final de manguera en el punto crítico del lote es 10 m.c.a.; se consideró regular por encima de 7 m.c.a.

A continuación, en la Tabla 32 y 33 se muestran los resultados de la regulación de presiones:

Tabla 32*Regulación de presiones campo – módulo 7.*

TURNO	VÁLVULA	ANTES DE	DESPUÉS DE	FINAL DE MANGUERA	
		VÁLVULA (m.c.a)	VÁLVULA (m.c.a)	DERECHA (m.c.a)	IZQUIERDA (m.c.a)
Turno 1	1	19	16.0	10.0	8.0
	5	21	13.0	9.5	9.0
	9	22	16.0	9.0	9.0
	13	23	15.0	10.0	9.0
	17	23	14.0	10.0	9.0
	21	23	14.0	10.0	9.0
	25	25	14.0	9.0	10.0
	29	26	10.0	10.0	9.0
Turno 2	2	27	17.0	10.0	8.0
	6	27	14.0	10.0	8.0
	10	32	18.0	11.0	9.0
	14	30	14.0	12.0	9.0
	18	31	14.0	10.0	8.0
	22	31	14.0	11.0	9.0
	26	32	17.0	12.0	9.0
Turno 3	3	28.0	16.0	10.0	9.0
	7	28.0	14.0	10.0	9.0
	11	28.0	14.0	10.0	8.0
	15	25.0	12.0	8.0	9.0
	19	26.0	16.0	10.0	8.0
	23	27.0	13.0	8.0	10.0
	27	27.0	13.0	9.0	10.0
Turno 4	4	19.0	16.0	10.0	9.0
	8	20.0	13.0	11.0	9.0
	12	23.0	15.0	11.0	8.0
	16	22.0	13.0	12.0	8.0
	20	28.0	16.0	12.0	9.0

Nota. elaboración propia.

Tabla 33*Regulación de presiones campo – módulo 8.*

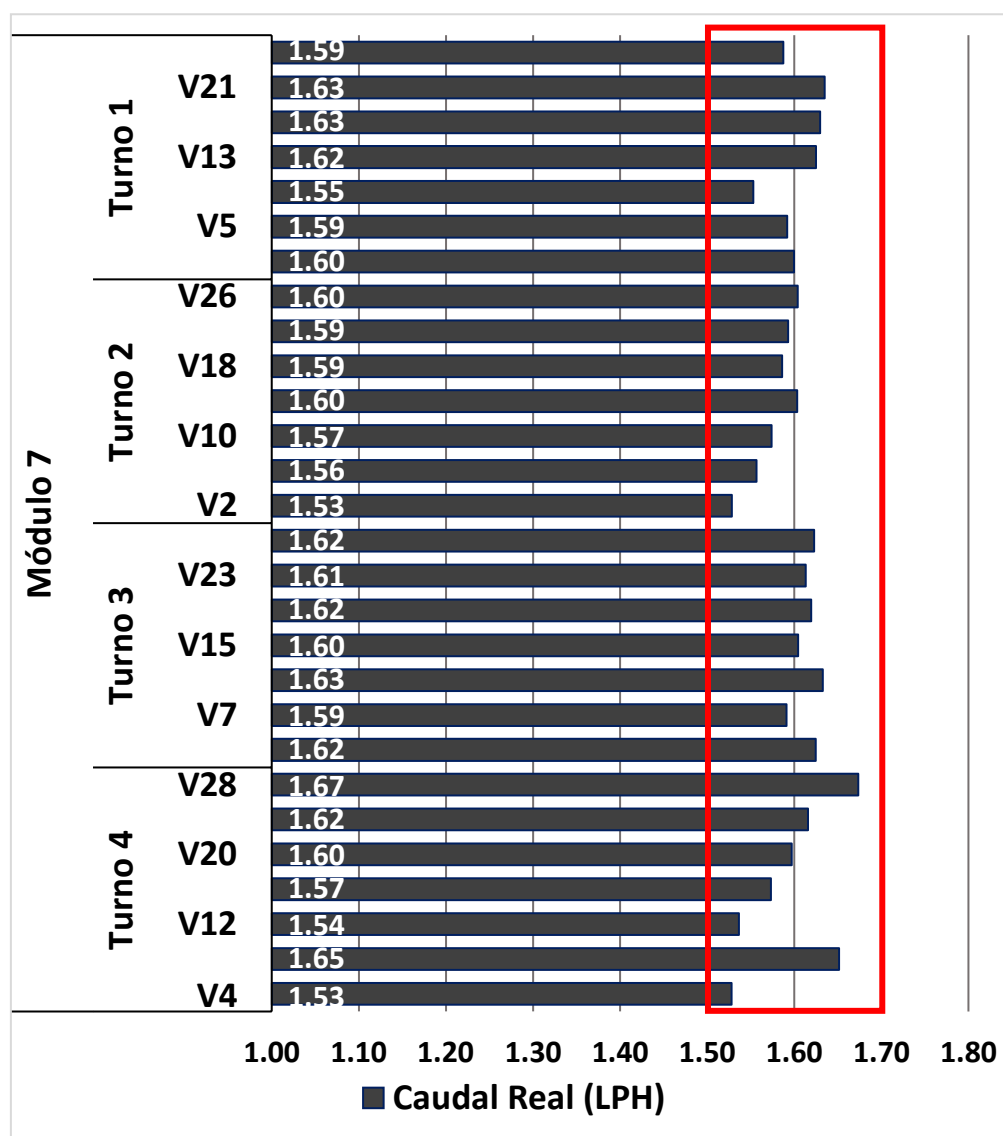
TURNOS	VÁLVULA	ANTES DE	DESPUES DE	FINAL DE MANGUERA	
		VÁLVULA (m.c.a)	VÁLVULA (m.c.a)	DERECHA (m.c.a)	IZQUIERDA (m.c.a)
Turno 1	1	19.0	16.0	10.0	8.0
	5	21.0	13.0	9.5	9.0
	9	22.0	16.0	9.0	9.0
	13	23.0	15.0	10.0	9.0
	17	23.0	14.0	10.0	9.0
	21	23.0	14.0	10.0	9.0
	25	25.0	14.0	9.0	10.0
	29	26.0	10.0	10.0	9.0
Turno 2	2	27.0	16.0	10.0	8.0
	6	27.0	14.0	10.0	8.0
	10	32.0	16.0	11.0	9.0
	14	30.0	14.0	12.0	9.0
	18	31.0	14.0	10.0	8.0
	22	31.0	14.0	11.0	9.0
	26	32.0	17.0	12.0	9.0
Turno 3	3	28.0	16.0	10.0	9.0
	7	28.0	14.0	10.0	9.0
	11	28.0	14.0	10.0	8.0
	15	25.0	12.0	8.0	9.0
	19	26.0	16.0	10.0	8.0
	23	27.0	13.0	8.0	10.0
	27	27.0	13.0	9.0	10.0
Turno 4	4	19.0	16.0	10.0	9.0
	8	20.0	13.0	11.0	9.0
	12	23.0	15.0	11.0	8.0
	16	22.0	13.0	12.0	8.0
	20	28.0	16.0	12.0	9.0

Nota. elaboración propia.

4.7.1.4. Evaluación del diagnóstico del sistema de riego. Se realizó después de haber regulado las presiones en filtrado y campo; donde, se evaluaron diversos parámetros como: evaluación de la descarga de gotero (con caudalímetro) (Figura 23 y 24), evaluación del porcentaje de coeficiente de uniformidad (Figura 26 y 27).

Figura 23

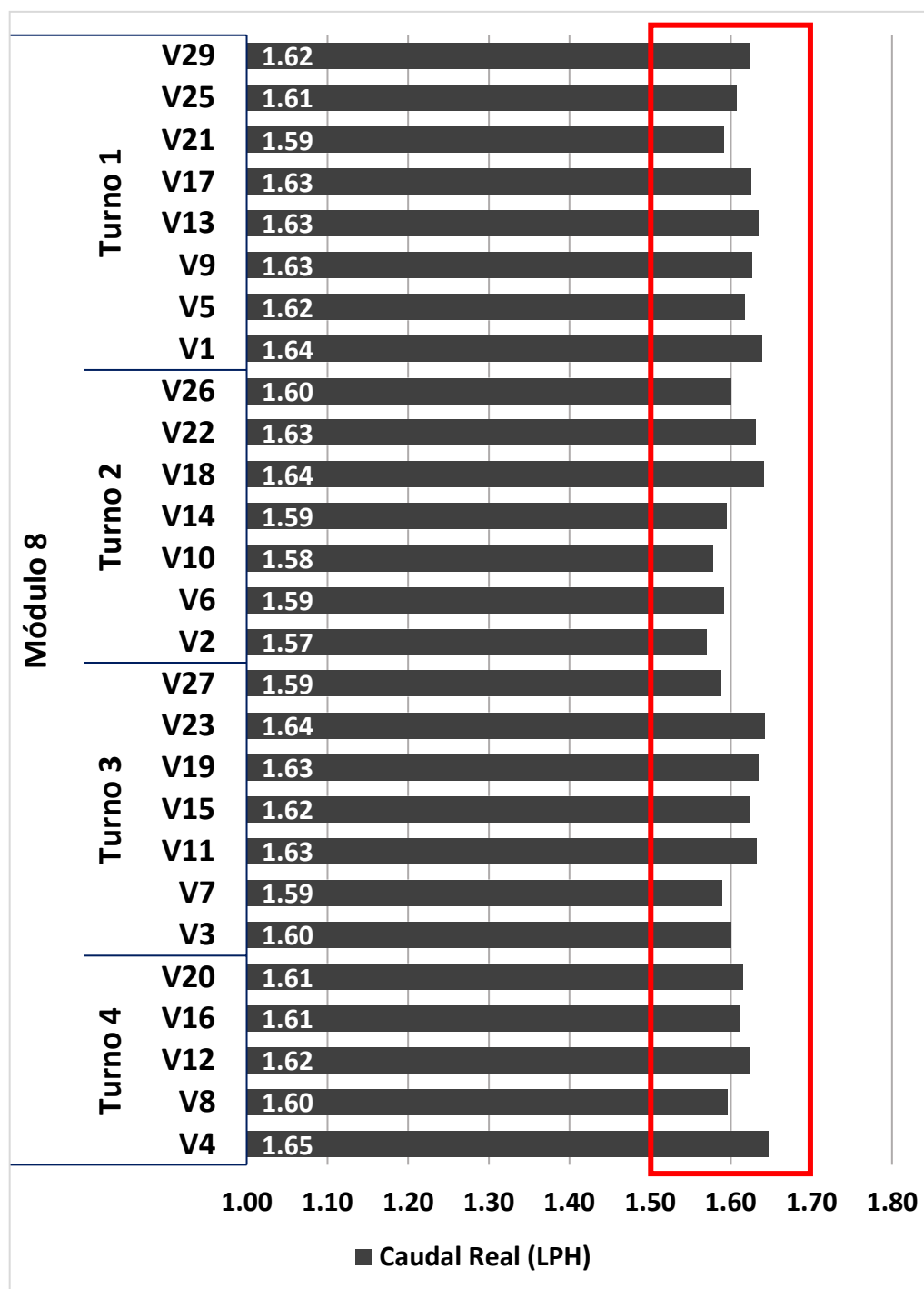
Caudal real de gotero con uso de caudalímetro – módulo 7.



Nota. El caudal real evaluado con caudalímetro en cada válvula se encuentra dentro del rango permitido (+) (-) 5% del caudal nominal. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Figura 24

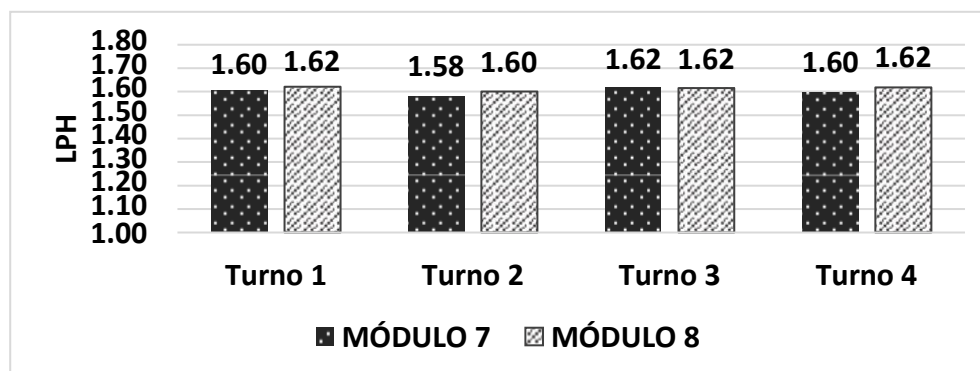
Caudal real de gotero con uso de caudalímetro – módulo 8



Nota. El caudal real evaluado con caudalímetro en cada válvula se encuentra dentro del rango permitido (+) (-) 5% del caudal nominal. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Figura 25

Resumen de caudal de gotero real promedio por turno – evaluación con caudalímetro.



Nota. En esta figura se indica que el caudal real evaluado con caudalímetro en cada válvula se encuentra dentro del rango. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Para la evaluación del porcentaje de coeficiente de uniformidad (% CU), se evaluaron 12 puntos por válvula distribuidos equitativamente de tal forma que representen a todo el lote.

Evaluación por válvula:

- Se evaluaron 4 líneas de siembra.
- Se tomó 3 goteros por cada línea de siembra: inicio, medio y final de manguera.
- Se calculó el porcentaje del coeficiente de uniformidad para cada válvula con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ CU} = \left(\frac{q_{25\%}}{Q} \right) \times 100$$

Donde:

% CU: Porcentaje del coeficiente de uniformidad

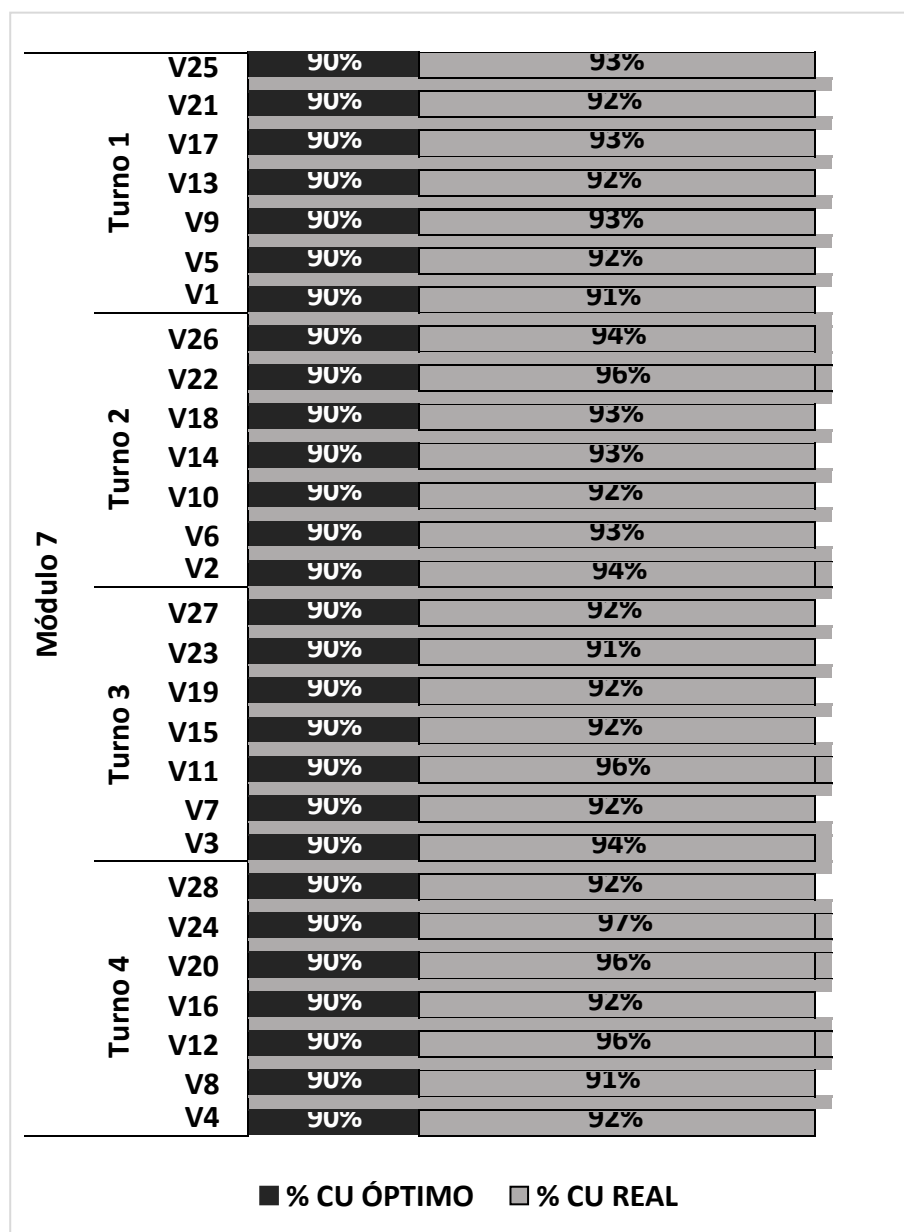
$q_{25\%}$: Promedio del 25 % de las lecturas más bajas de caudal real de goteros

Q : Promedio del 100 % de las lecturas de caudal real de goteros

Según Vargas (2008), las categorías de eficiencia de uniformidad (Eu) para sistemas de riego presurizado serían: la categoría excelente del 90%-100%, buena del 80%-90%, aceptable del 70%-80%, inaceptable menos del 70%.

Figura 26

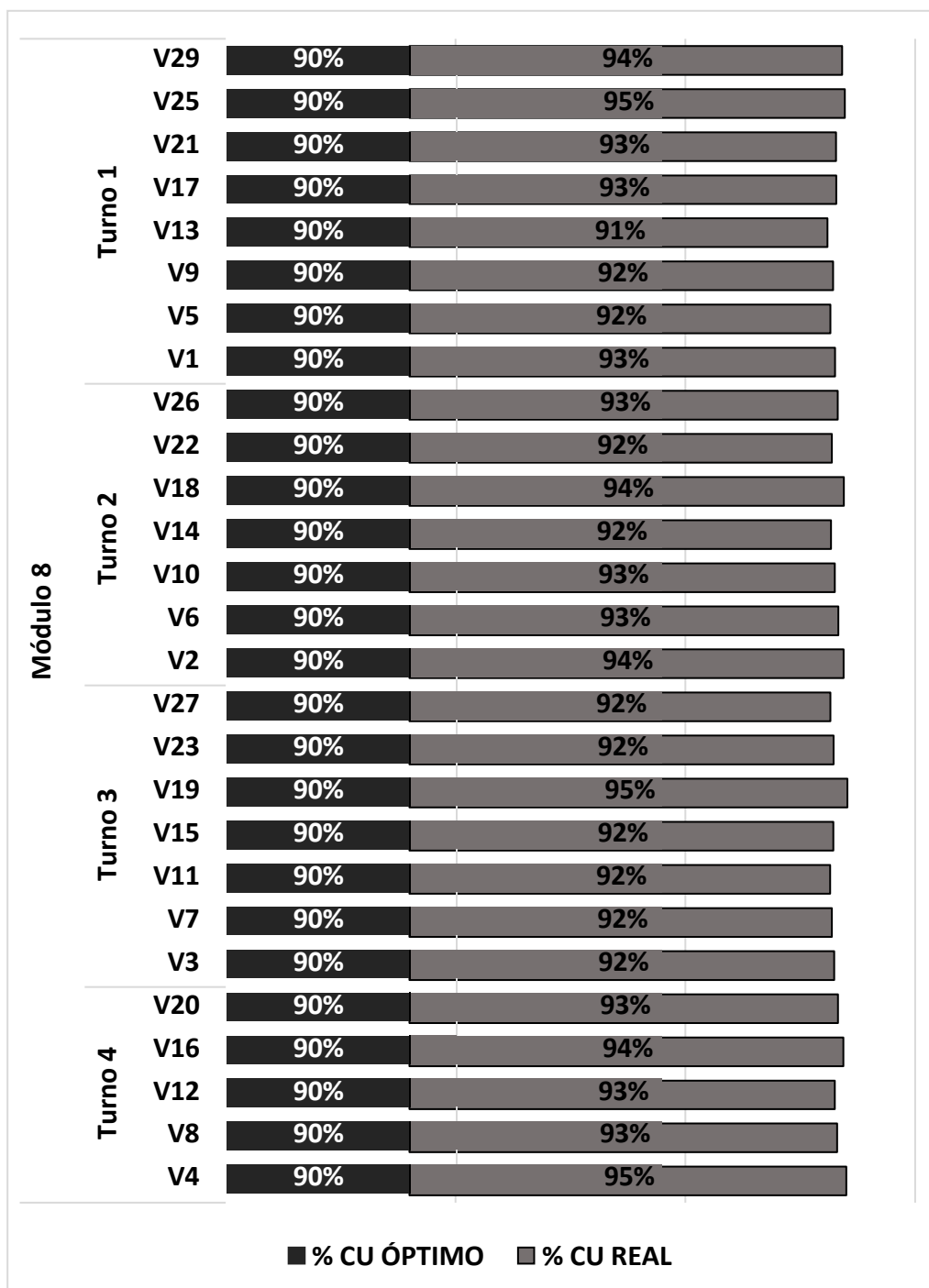
Evaluación del coeficiente de uniformidad – módulo 7.



Nota. En esta figura se muestra la evaluación del coeficiente de uniformidad del módulo 7. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Figura 27

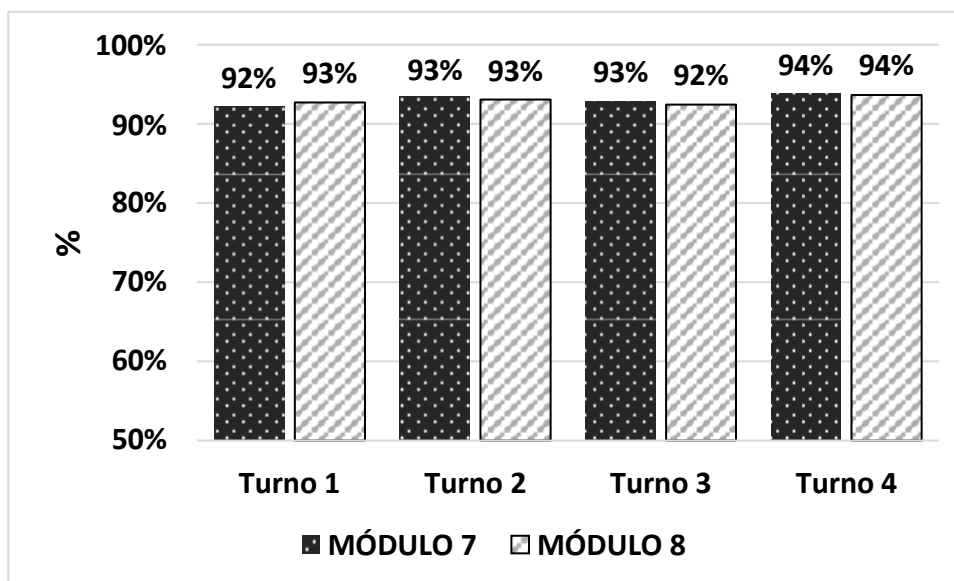
Evaluación del coeficiente de uniformidad – módulo 8.



Nota. En esta figura se muestra la evaluación del coeficiente de uniformidad del módulo 8. Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Figura 28

Resumen del coeficiente de uniformidad por turno.



Nota. En esta figura se muestran que todos los valores se encuentran dentro del rango óptimo.

Fuente: tomado de Agrícola Cerro Prieto.

4.8. Análisis económico

Se realizó la valorización de todos los componentes del sistema de riego con diferentes proveedores; por tanto, para tomar la decisión con que proveedor trabajar se evaluaron los siguientes criterios: experiencia general y específica, aspectos técnicos, servicio técnico y post venta, criterio económico y tiempo de entrega de los productos.

Los costos de la valorización comprenden todos los componentes del sistema de riego por goteo; adicional a ello también se consideró los costos del sistema de riego por aspersión para caminos; el cual, usa el agua de los retro lavados, de esta manera optimizando el recurso hídrico (Tabla 34).

Tabla 34*Valorización de componentes del sistema de riego.*

DESCRIPCIÓN	MÓDULO 7 y 8	
	VALOR	%
Laterales de goteo y conectores	\$ 138,578	11.5%
Arco de válvulas de goteo	\$ 27,145	2.3%
Tuberías PVC porta regantes con accesorios de conexión y lavados	\$ 4,060	0.3%
Tuberías PVC principales y accesorios	\$ 856,518	71.3%
Tuberías PVC colectoras y accesorios	\$ 8,915	0.7%
Válvulas de aire de protección tuberías matrices	\$ 2,414	0.2%
Válvula de alivio rápido de goteo	\$ 840	0.1%
Red de automatización goteo y aspersión en campo	\$ 19,923	1.7%
Entradas de manifold a filtrados	\$ 928	0.1%
sistema de filtrado : grava + malla	\$ 77,894	6.5%
By pass salida, válvulas de control y caldererías metálicas de salida a campo	\$ 14,422	1.2%
Equipos de fertirriego	\$ 26,534	2.2%
Sistema aspersión: filtrado válvulas de control y calderería metálica 4"	\$ 1,982	0.2%
Tablero eléctrico, equipos de bombeo	\$ 8,114	0.7%
Aspersión: tuberías PVC matrices y porta regantes	\$ 490	0.0%
Aspersión arco de válvulas	\$ 6,186	0.5%
Aspersores de impacto sectorial y accesorios de conexión	\$ 5,176	0.4%
Hidrantes de toma de agua cruda red de aspersión	\$ 776	0.1%
Válvula de alivio sistema de aspersión y accesorios	\$ 426	0.0%
SUBTOTAL MATERIALES	\$ 1,201,321	
ÁREA (Ha)	216.6	100%
INVERSIÓN EN MATERIALES USD/Ha	\$ 5,546	

Nota. Tomado de Agrícola Cerro Prieto.

Tabla 35*Resumen de costos.*

DETALLE	VALOR
Materiales	\$ 1,201,321
Instalación y supervisión (proveedor)	\$ 7,689
Mano de obra	\$ 66,943
Maquinaria	\$ 142,595
Valor total	\$ 1,418,548
Área (ha)	216.6
Inversión total USD/ha	\$ 6,549

Nota. Tomado de Agrícola Cerro Prieto.

CONCLUSIONES

1. Se realizó el diseño, instalación y se comprobó la operación del sistema de riego por goteo en el cultivo de Palto, variedad Hass en la empresa Agrícola Cerro Prieto.
2. Se determinó el balance hídrico para el cultivo de Palto, variedad Hass, resultando como lámina máxima de riego $70 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día}$ para el cultivo en su máxima demanda; a su vez, el uso de $15,162 \text{ m}^3/\text{día}$.
3. Se realizó el diseño agronómico del cultivo, donde, se optó por dividir el área total en 2 módulos de riego: módulo 7 con 111.7 ha y módulo 8 con 104.9 ha, subdivididos en 4 turnos de riego por cada módulo; se determinó el uso de un gotero auto compensado de 1.6 LPH distanciados a 40 cm; así mismo se determinó el uso de 3 mangueras por cada línea de siembra; con una descarga del sistema de 1.71 mm/h.
4. Se realizó el diseño geométrico dando como resultado 28 válvulas o lotes en el módulo 7 y 27 válvulas o lotes en el módulo 8; resultando el área de una válvula típica de 4 ha.
5. Se realizó el diseño hidráulico del sistema de riego en el cual se determinó los componentes y diámetros de tuberías que se utilizaron en el proyecto tanto para tubería aductora, matriz, porta regante; válvulas hidráulicas, lateral de goteo y cabezal de filtrado.
6. Se realizó la valorización del sistema de riego; dando como valor total la suma de USD \$ 1,418,548, este valor incluye el costo de todos los componentes del sistema de riego, así como, el valor de la supervisión e instalación por parte del proveedor, el costo de mano de obra y el costo de maquinaria; resultando un costo de USD/ha 6,549; además, para tener en cuenta que el mayor porcentaje de costos en materiales se dio en las tuberías PVC resultando el 71 % del valor total.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda siempre trabajar con un margen de seguridad al momento de realizar el diseño del sistema; esto, debido a que siempre se realizan variaciones en el cultivo y de esta forma se puedan suplir las necesidades requeridas.
2. Se recomienda realizar un exhaustivo análisis económico de la valorización de los componentes del sistema de riego, lo cual, repercute significativamente en el costo – beneficio.
3. Se recomienda realizar la validación del sistema de riego con la calibración de presiones y la evaluación del porcentaje de coeficiente de uniformidad en cada lote.
4. Teniendo en cuenta que actualmente nuestro país está posicionado dentro de los primeros países agroexportadores en el cultivo de Palto y que las exigencias de los mercados cada vez son más exigentes; se recomienda la implementación de proyectos de irrigación de mayor envergadura, que hacen imprescindible el desarrollo de nuevas técnicas de fertirrigación las cuales permiten regar y fertilizar nuestro cultivo con mayor control.
5. Se recomienda realizar un riguroso análisis de las diferentes condiciones para cada proyecto y de esta manera poder diseñar y elegir el sistema de riego y fertirriego apropiado, tomando en cuenta todos los criterios expuestos, lo cual nos permitirá contar con equipos confiables, eficientes, de bajo mantenimiento y con la capacidad de satisfacer las máximas exigencias del cultivo.

REFERENCIAS

(s.f.).

Aidarov, Golovanov, & Mamaév. (1985). *Apuntes de la materia de riego y drenaje*. Obtenido de

<http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>

Albites, J., & Alvitez, C. (2015). *Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de palto Hass en parcela de 22ha del subsector de riego Ferreñafe [Tesis de pregrado, UNPRG]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/108>

UNPRG]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/108>

Banco Mundial. (2021). En Ecuador, el riego tecnificado equivale a cultivos más sostenibles y mejor alimentación. *Banco Mundial*. Obtenido de

<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en-ecuador-el-riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci-n>

Barboza, B. (2020). "Cálculo de la huniformidad de distribución de riego por goteo, en los lotes "Rosso 1 y 2" de palta Hass (4.93 ha) y "Catita" de mango (1.03 ha) del fundo Palo Blanco, Motupe, Lambayeque". UNPRG, Lambayeque, Perú. Obtenido de

<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9004>

BERMAD. (2019). *VÁLVULA DE CONTROL HIDRÁULICA*. Obtenido de

https://www.bermad.com/app/uploads/IR_105-Z_Product-Page_Spanish_11-2019.pdf

BERMAD. (2021). *VÁLVULA REDUCTORA Y SOSTENEDORA DE PRESIÓN*. Obtenido de

https://www.bermad.com/app/uploads/IR_423-RXZ_Product-Page_Spanish_4-2021.pdf

Cisneros, R. (2003). *APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAJE*.

Cortes, V., & Vargas, M. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante Iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Maria Poussepin [Tesis de pregrado, Universidad*

- Católica de Colombia*]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/25546>
- Cucho, E. (2018). *Diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado en las áreas verdes del condominio el nuevo rancho, distrito de Miraflores, Lima- Lima [Monografía técnica de pregrado, Universidad Mayor de San Marcos]*. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/8861>
- Delgado, D., & Jara, K. (2022). *Planificación y diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de paprika (capsicum annuum) en fundo Agrolatam de 137.54 ha – del sector de riego Olmos – Olmos - Lambayeque, empleando software de diseño [Tesis de pregrado, UNPRG]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10650>: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10650>
- Eurotubo. (2012). *CATÁLOGO Y MANUAL TÉCNICO*. Perú. Obtenido de <https://www.eurotubo.com.pe/catalogos.php>
- FAO. (2006). Introducción a la evapotranspiración. En FAO, *Evapotranspiración del cultivo* (págs. 22, 24, 124). Roma, Italia. Obtenido de <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO, UNSAM. (2014). *Identificación de potenciales nuevas áreas de regadío y de riego complementario en la zona Nordeste de la Argentina*. Obtenido de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/anexosyapendices/3.RiegoComplementario/apendices/b._Consideraciones_Ambientales_riego.pdf
- Gardiazabal, F. (2004). *FACTORES AGRONÓMICOS A CONSIDERAR EN LA IMPLANTACIÓN DE UN HUERTO DE PALTOS*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile. Obtenido de

- http://www.avocadosource.com/journals/2_seminario/2_seminario_gardiazabal_clima_suelo_y_agua_span.pdf
- Groppa, M. (1983). Riego por goteo. *Palmas*, 4(1), 35, 36. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/37>
- Netafim. (s.f.). *GOTERO INTEGRAL EN TUBERIAS AUTOCOMPENSADAS*. Obtenido de http://www.riegoseinvernaderos.com.co/PDF/MANGUERAS_DE_RIEGO_CON_GOTERO_INTEGRADO/MANGUERA_DE_RIEGO_AUTOCOMPENSADA/DripNet_PC_16125_16150_16250_SP.pdf
- Pizarro, F. (1987). Riego por goteo. En F. Pizarro, *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación*. España: Madrid Mundi-Prensa. Obtenido de https://ingenio.upm.es/primo-explore/fulldisplay/34UPM_ALMA2152909920004212/34UPM_VU1
- Vargas, A. (2008). *Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de el Zamorano*. Zamorano, Honduras. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/items/629daf21-efdd-4879-aa05-1f363d97c54d>
- YAMIT. (2021). *MANUAL DE OPERACIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO*. Israel. Obtenido de <https://www.yamit-f.com/wp-content/uploads/2021/05/9006206000-F600-YAMIT-Spanish-Bermad.pdf>
- Zapata, E., & Palomino, J. (2018). *"SISTEMAS DE REGADÍO POR GOTEO PARA RACIONALIZAR EL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE PALTA EN LA LOCALIDAD DE SANTA ROSA DE QUIVES - CANTA, AÑO 2018"*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21274/Zapata%20N%C3%BA>

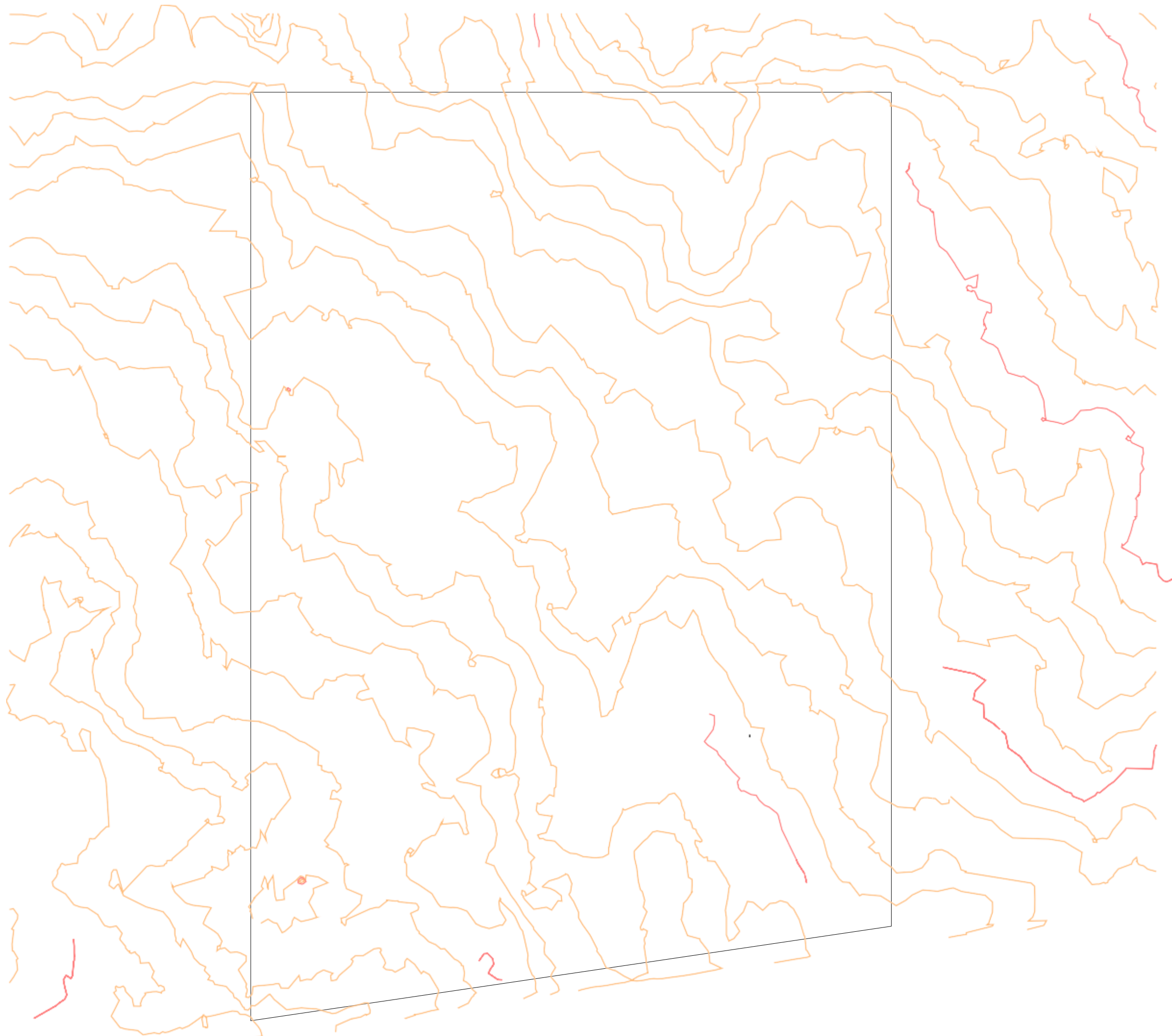
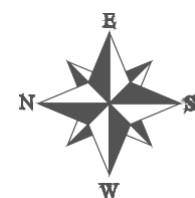
3%B1ez%2C%20Eduardo%20Segundo%20-

%20Palomino%20N%C3%BA%C3%B1ez%2C%20Jos%C3%A9%20Luis.pdf?sequence

=3&isAllowed=y

ANEXOS.

ANEXO 1**PLANO TOPOGRÁFICO**



PROYECTO

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO -
PALTA - MODULO 7 Y 8 SECTOR 4
FILTRADO 1

CONTIENE

CURVAS DE NIVEL A 1M.
CURVAS DE NIVEL A 5M

DEPARTAMENTO

LA LIBERTAD

UBICACIÓN

Pacanga, Chepén

ÁREA NETA

MODULO 7+8 : 216.60 Has
MODULO 7: 111.70 Has
MODULO 8 :

CULTIVO

PALTA

FECHA

Mayo del 2022

TAMAÑO DE PAPEL

A1

Este documento ha sido preparado de conformidad con las prácticas de ingeniería generalmente aceptados. Esta basado en la información suministrada.

Este documento es propiedad exclusiva de Agrícola Cerro Prieto, quienes se reservan el derecho de acciones legales, si se comprueba el incumplimiento de lo anterior señalado.

ANEXO 2**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DE RIEGO**

INFORME DE SEGUIMIENTO NUTRICIONAL			TABLA DE DATOS ANALÍTICOS		11/09/2020	
	Cliente(*):	AGRICOLA CERRO PRIETO S.A.		Cultivo:		
	Finca	CERRO PRIETO		Variedad:		
	Parcela	AGUA DE RIEGO		Fenología		
	Fecha:	31/08/2020				

- AGUA	pH	CE	HCO3	Cl-	SO4--	NO3-	Ca++	Mg++	Na+	K+	B	Fe	Mn	Cu	Zn
		dS/m a 25° C	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
31/08/2020	8,10	0,31	1,52	0,48	0,95	<0,16	1,94	0,47	0,49	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

ANEXO 3
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO

Nº de Referencia:	S-20/025029	Registrada en:	AGQ Perú		
Análisis:	0010247S-24	Centro Análisis:	AGQ International		
Tipo Muestra:	SUELO AGRICOLA	Fecha/Hora Muestreo:	03/06/2020	Fecha Recepción:	08/06/2020
Lugar de Muestreo:	AGRICOLA CERRO PRIETO	Fecha Inicio:	16/06/2020	Fecha Fin:	18/06/2020
Muestreado por:	Cliente (*)			Contrato:	PE20-2804
Descripción(*):	S6M1T2V3	Cliente 3º(*):	----		
Cliente(*):	AGRICOLA CERRO PRIETO S.A.	Domicilio (*):	CAL.DEAN VALDIVIA NRO. 111 INT. 1002LIMA-LIMA-SAN ISIDRO		

FERTILIDAD FÍSICA

Clase Textural	Arenosa
Arcilla	2,09 %
Limo	3,12 %
Arena	94,8 %
Arena Fina	94,7 %
Arena Gruesa	0,10 %

Riesgo de Compactación



FERTILIDAD

Parámetro	Resultado	Unidades	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Método	PNT
Materia Orgánica	< 0,17	%		1,20		2,00		Combustión	PE-2129
Cond. Eléctrica (Ext 1/1)	132	µS/cm a 20° C							PE-2128
pH (Extracto 1/1)	7,77	unidades de pH							PE-2128
Suma de Bases Disponibl	< 0,22	meq/100 g							PEC-020

COMPLEJO DE CAMBIO

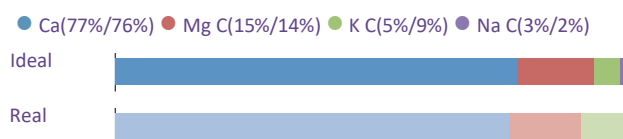
Parametro	Resultado	Unidades	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Método	PNT
Calcio Cambio	2,4465	meq/100 g		8,0000		14,000		Ac NH4	PEC-009
Magnesio de Cambio	0,45	meq/100 g		1,50		2,50		Ac NH4	PEC-009
Potasio Cambio	0,28	meq/100 g		0,50		0,80		Ac NH4	PEC-009
Sodio Cambio	< 0,05	meq/100 g		0,25		0,50		Ac NH4	PEC-009
Aluminio de Cambio	< 0,01	meq/100 g		0,50		1,00		Ac NH4	PEC-009
CIC Efectiva	3,17	meq/100 g		5,00		10,0			PEC-019
Saturacion de Bases	< 0,01	%		50,0		80,0			PEC-020

RELACIONES DE INTERÉS

Parámetro	Resultado	Unidades	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Método	PNT
Relación C/N	< 0,08			10,0		15,0			PEC-041
Relación (Ca+Mg) / K Dis	< 0,01								PEC-041
Relación Ca/Mg Disponib	< 0,00								PEC-041
Relación Mg/K Disponibl	< 0,00								PEC-041

RELACIONES CATIÓNICAS

% Cationes de Cambio



Nº de Referencia: S-20/025029

Descripción(*): S6M1T2V3

Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA

Fecha Fin: 18/06/2020

NOTA

Nota: L.C.: Límite de Cuantificación. SP: sólo parental. Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Puede solicitar las incertidumbres, cuando estas no aparezcan en el informe. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. N/L: No Legislado.

OBSERVACIONES (*):

FECHA EMISIÓN: 18/06/2020



Angel Simon Salgado Peral

ANEXO 4
PLANO HIDRÁULICO



PROYECTO

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO -
PALTA - MODULO 7 Y 8 SECTOR 4
FILTRADO 1

CONTIENE

DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA DE
LOTES DE CULTIVO, UBICACIÓN DE
FILTRADO, RED PRINCIPAL Y
SECUNDARIA DE RIEGO EN
DIFERENTES DIÁMETROS SEGÚN
DISEÑO HIDRÁULICO.

DEPARTAMENTO

LA LIBERTAD

UBICACIÓN

Pacanga, Chepén

ÁREA NETA

MODULO 7+8 : 216.60 Has
MODULO 7: 111.70 Has
MODULO 8 : 104.90 Has

CULTIVO

PALTA

FECHA

Mayo del 2022

TAMAÑO DE PAPEL

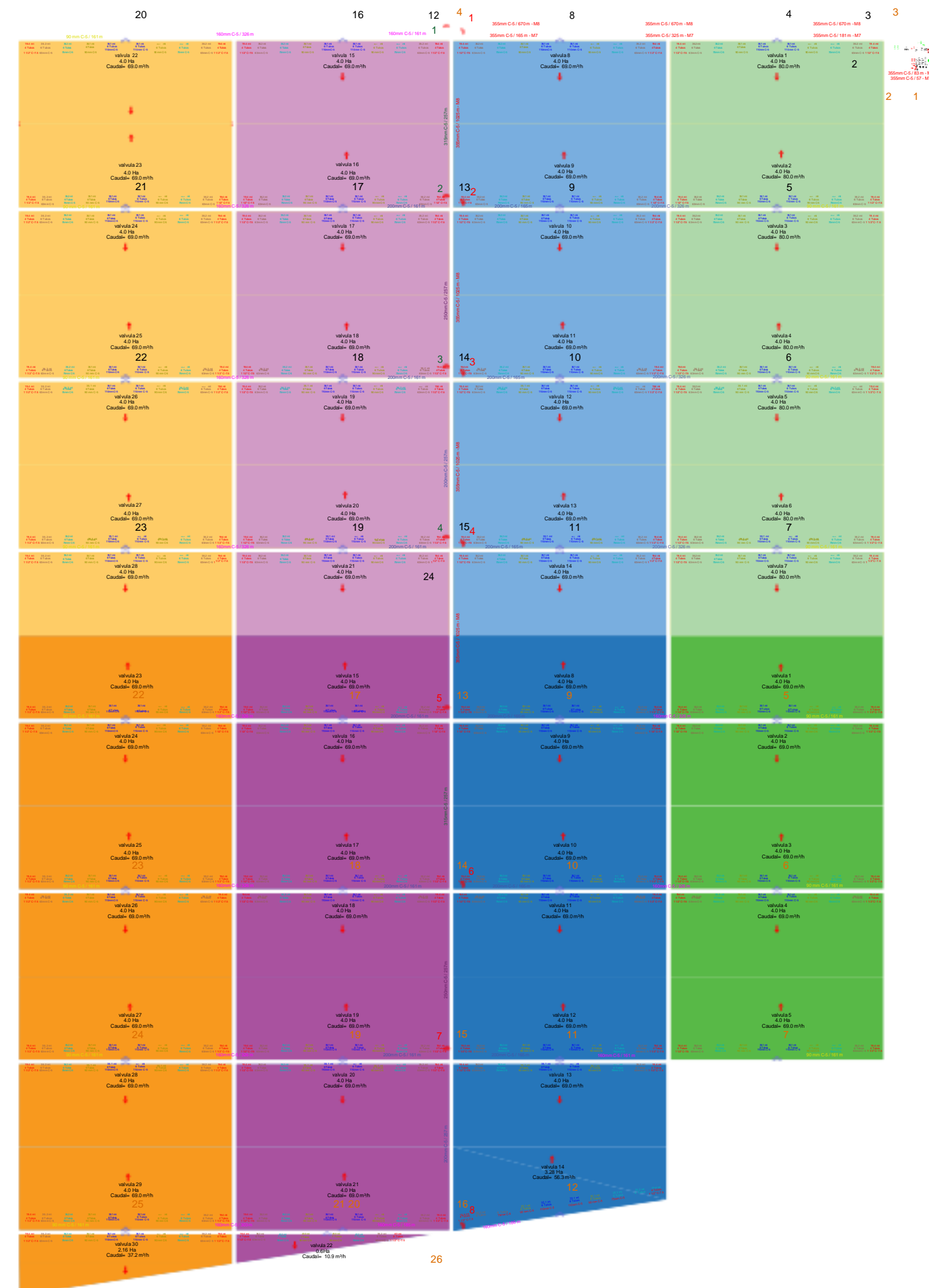
A1

Este documento ha sido preparado de conformidad con las prácticas de ingeniería generalmente aceptados. Esta basado en la información suministrada.

Este documento es propiedad exclusiva de Agrícola Cerro Prieto, quienes se reservan el derecho de acciones legales, si se comprueba el incumplimiento de lo anterior señalado.

MODULO 7
111.7 HA

MODULO 8
104.9 HA

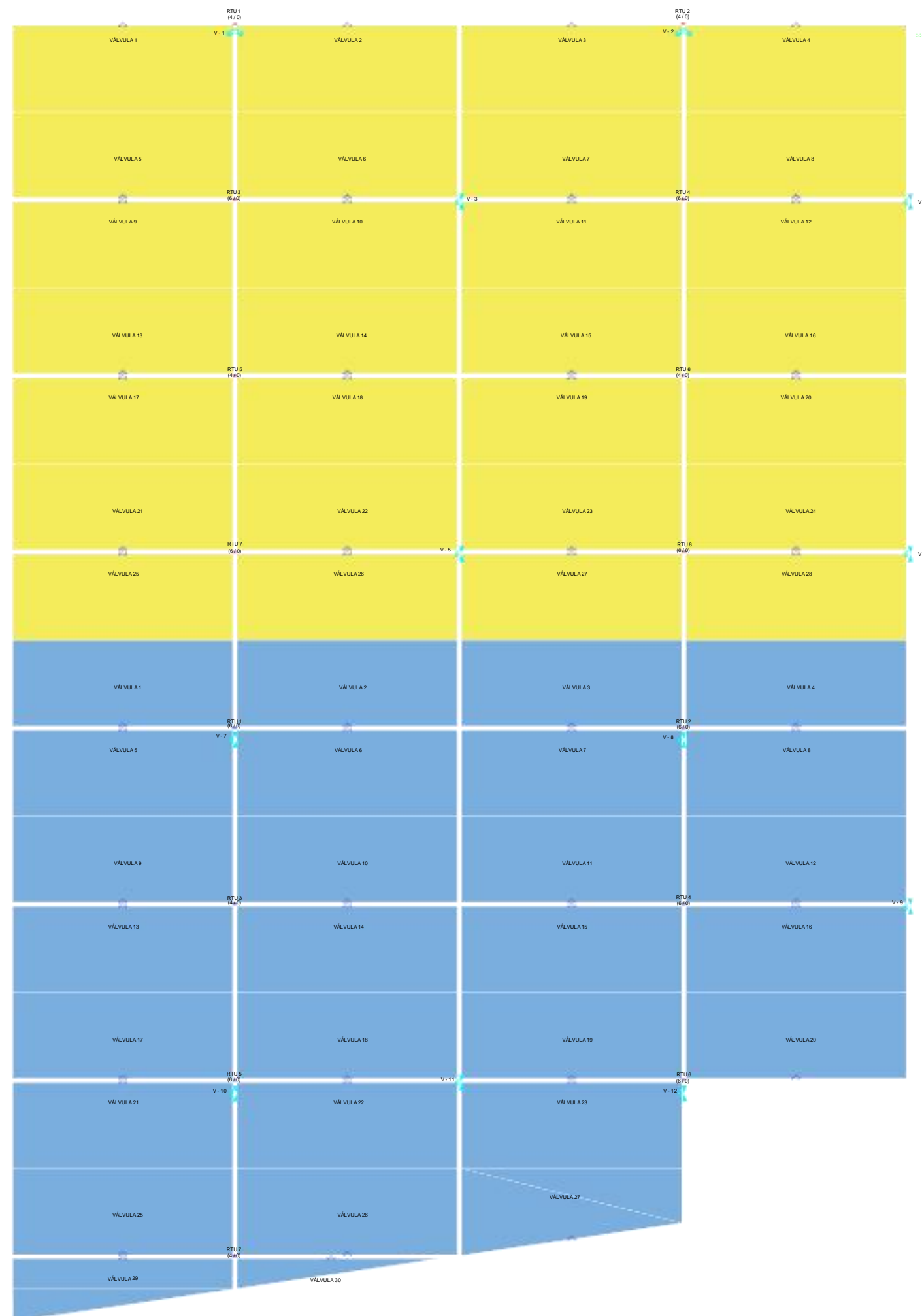


ANEXO 5
PLANO DE AUTOMATIZACIÓN

ANEXO 6
FOTOGRAFÍAS



MODULO 7
111.7 HA



MODULO 8
104.9 HA

LEYENDA

MANDO HIDRÁULICO 8 MM

VÁLVULA ASPERSIÓN

VÁLVULA GOTEO

RTU MODULO 7

RTU MODULO 8



RTU 1
(5 / 0)

RTU 1
(5 / 0)



PROYECTO

AUTOMATIZACIÓN MODULO 7 Y 8
FILTRADO 1 SECTOR 4

CONTIENE

AUTOMATIZACIÓN DE VÁLVULAS DE
RIEGO Y ASPERSIÓN DE CAMINOS,
UBICACIÓN DE RTU Y DISTRIBUCIÓN
DE MANDO HIDRÁULICO MODULO 7
Y 8

DEPARTAMENTO

LA LIBERTAD

UBICACIÓN

Pacanga, Chepén

ÁREA NETA

MODULO 7+8 : 216.60 has
MODULO 7: 111.70 has
MODULO 8 : 104.90 Ha

CULTIVO

PALTA

FECHA

Mayo del 2022

TAMAÑO DE PAPEL

A1

Este documento ha sido preparado de conformidad con las prácticas de ingeniería generalmente aceptadas. Esta basado en la información suministrada.

Este documento es propiedad exclusiva de Agrícola Cerro Prieto, quienes se reservan el derecho de acciones legales, si se comprueba el incumplimiento de lo anterior señalado.

Instalación de tubería aductora.



Instalación de filtros de grava de 48"



Instalación de filtros de grava de 48"



Instalación de filtros de grava de 48"



Apertura de zanjas con máquina retroexcavadora



Instalación de tuberías matriz



Instalación de tuberías porta regante



Instalación de laterales de riego



Instalación de laterales de riego

