

Plan de mejora al sistema de regadío de frutillares para la optimización del recurso hídrico

Verónica Morales, Doctor en Química¹, Fabian Vidal, Licenciado en Ciencias de la Ingeniería² y Mathías Vilches, Licenciado en Ciencias de la Ingeniería¹

¹Universidad de Valparaíso, Chile. veronica.morales@uv.cl

Abstract: *The Irrigation Improvement Plan seeks to provide an effective way to deal with water scarcity and the limitations imposed by the municipality, which suffers from the area of Ranquilco, Commune of Litueche, Chile, through an irrigation system that allows it to better use the available water for the strawberries, maintaining the stable production and quality of its fruits. For the development of the integral system, the following improvements were made: flow regulation, determination of the theoretical irrigation time, adequate distribution of emitters, standardization of measurements and irrigation radius, selection of materials to be used in the irrigation system, water storage system, distribution of hoses in the plantation, optimization of the infiltration of irrigation water, automation of the irrigation system and performance indicators and automation of the system for detecting failures in the irrigation system. All these improvements allow a saving of water resources. The economic analysis indicates that the project is viable, profitable and expandable to other types of berries..*

Keyword: *Water optimization, strawberries, irrigation system*

I. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea constituye una parte fundamental del volumen de agua existente en los continentes, y se encuentra en los acuíferos situados bajo la superficie de la tierra. El volumen de agua subterránea del planeta es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, la cual abastece a una tercera parte de la población mundial. Las aguas subterráneas constituyen el 30% de agua dulce disponible en el mundo, mientras que un 69% se encuentra atrapada en casquetes polares, ríos y lagos.[1] A menudo estas aguas se encuentran escondidas en las profundidades de los acuíferos, rocas permeables y sedimentos, mientras que para su extracción se utilizan pozos de bombeos, pese a parecer que hay una gran cantidad de agua, esto no es así y muchas partes del mundo ya han sido afectadas por la escasez hídrica.[2] Existen 2 variables fundamentales para identificar la escasez hídrica, en primer lugar, el aumento de la población mundial, ya que a medida que pasa el tiempo la cantidad de agua extraída y la población aumenta, evidenciando una directa relación entre ambas. La extracción agrícola es la que presenta los números más altos con respecto a la demanda hídrica.[3] Por otro lado, el uso industrial, cada vez mayor, genera un constante aumento en la demanda de agua subterránea. A raíz de lo mencionado, los gestores de aguas de muchas regiones se han visto obligados a hacer frente a la sobreexplotación de acuíferos, y a las amenazas derivadas del derrame de contaminantes y toxinas de las aguas subterráneas.

Chile no es la excepción a este problema, existiendo zonas declaradas legalmente como de “escasez hídrica” [4].

En la Sexta Región, el suelo agrícola apto para la producción de cultivos en la comuna de Litueche se ha visto severamente afectado durante los últimos años por la gran demanda hídrica generada por el sector agropecuario, siendo este, la principal fuente económica. Litueche, es una comuna de Chile perteneciente a la provincia Cardenal Caro, en la Región del Libertador Bernardo O’Higgins. Cuenta con un total de 619 km², 6.294 habitantes y una densidad de 10.17 hab km². [3] Dentro de esta comuna se encuentra el sector Ranquilco, ruta I-116, posee una superficie total de 65.213,56 m² y una longitud total de 1,15 km. (Fig.1). Su principal ingreso económico es la producción de diversas variedades de frutillas, tanto para exportación como para consumo nacional.

La producción agrícola de esta localidad se ha visto severamente afectada por la sequía debido a dos factores: 1. El déficit de escorrentía superficial, por falta de precipitaciones. En años anteriores llovía 600 mm, en el año 2019 se registraron poco más de 200 mm. [5] 2. El factor humano. El aumento exponencial de cultivos y el gran margen operacional que permiten ha generado que los productores tomen poca conciencia de la explotación de aguas superficiales y subterráneas.

Esto último ha afectado directamente a los pequeños y medianos productores de la zona, por lo que se decide idear un plan integral de mejora al sistema de riego que emplean actualmente, con un foco en proteger y optimizar en recurso hídrico de la zona. Se empleo como piloto la empresa de mediano tamaño “Esteban Frutillas”, para diseñar un modelo que posteriormente pueda ser replicado en otras empresas de la zona.



Fig 1. Delimitación geográfica de la zona de estudio en Ranquilco.

II. METODOLOGIA

A continuación, se enumeran las etapas realizadas para generar el plan de mejora. En la mayoría de las etapas se

emplearon herramientas propias de la ingeniería para la toma de decisiones.

1. Estudio de la situación actual del sistema de riego, mediante cálculos y muestreos en base a datos como: consumo de agua subterránea utilizada para regar una dimensión de la plantación, cantidad de energía empleada por la bomba considerando su posición, limitaciones generadas a partir del tipo de riego utilizado, etc.

2. Comparación de los distintos sistemas de riegos empleados para la producción de frutas, con énfasis en los requerimientos propios de las plantas de frutillas para hacer la elección del sistema más adecuado. La elección se realiza por medio de matriz de factores ponderados.

3. Estudio detallado de mejoras al sistema seleccionado, distribución adecuada de los recursos según requerimientos hídricos, generación de modelos gráficos.

4. Evaluación de la necesidad de añadir equipos auxiliares y sensores.

5. Evaluación económica, considerando diversos factores para la obtención de flujos de caja, para determinar indicadores económicos y de riesgo.

III. RESULTADOS

A. Situación actual de la zona de estudio.

La plantación de “Esteban Frutillas” está distribuida por camellones de una longitud promedio de 30 m con una distancia entre ellos de 0,4 m en el inferior y 1,2 m en la parte superior (de centro a centro), por su parte las plantas tienen una distancia entre ellas de 0,4 m ubicadas en la parte central del camellón, adicionalmente se plantan estolones en los laterales con una distancia de 0,3 m.

El sistema de riego que utiliza la empresa es por goteo empleando cintas ubicadas en la parte superior de los camellones, el agua es extraída desde la fuente (pozo) a través de una bomba sumergible conectada a una manguera principal de 1 ½ plg que traslada el agua hasta la plantación. En este punto se divide mediante mangueras secundarias de igual diámetro que se conectan con las terciarias de 1 ¼ plg a las que se conectan las cintas que entregan el agua a la planta como se muestra en la Fig.2. En estas últimas mangueras, se conectan llaves de paso que permiten subdividir el riego en 4 sectores que constan de 20 a 24 camellones, los que son regados por períodos que varían entre 50 minutos a 1 hora y 10 minutos, según la disponibilidad de agua, la época del año. El cambio de sector de riego es manual, por lo que las variaciones en estos tiempos siempre existirán. Debido a esta rotación, cada sector se riega a lo menos 3 veces a la semana.



Fig 2. Sistema de riego actual empresa Esteban Frutillas.

El agua utilizada en el sistema de riego proviene de un pozo de una profundidad de 30 m, ubicado en el terreno de la empresa, este cuenta con un tubo PVC de 6 plg de diámetro en el que la bomba se conecta a una manguera de 1 ½ plg. El agua del pozo cumple todas las normativas vigentes para agua de regadío, por lo que no se realiza tratamiento previo.

El agua utilizada en el sistema de riego proviene de un pozo de 30 m de profundidad, ubicado en el terreno de la empresa, este cuenta con un tubo PVC de 6 plg de diámetro en el que la bomba se conecta a una manguera de 1 ½ plg.

En el año 2018, según mediciones de la empresa, existían 18 m de profundidad de agua por la mañana y en la tarde, luego de cumplir con el riego diario, llegaba a los 14 m. Según las últimas mediciones realizadas por la empresa en el mes de junio de 2020, la mañana cuenta con una profundidad de 14 m, mientras que en la tarde es de 10 [m]. El punto más crítico identificado por la empresa se presentó en enero de 2020, llegando a marcar 7 m de profundidad en la mañana, lo que obligó a cortar temporalmente el suministro de agua, con las consecuentes pérdida en la plantación.

i. Cálculo de eficiencia de uniformidad para sistema de riego empleado por la empresa.

Se muestrearon 16 goteros por sector para determinar el caudal en L/h y con los datos registrados se calculó la eficiencia de uniformidad (E_u) para cada sector, empleando (1), luego se promediaron los resultados como se presenta en la tabla 1.

$$E_u = \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}|}{n + \bar{x}} \right) * 100 \quad (1)$$

E_u : Eficiencia de Uniformidad.

\bar{x} : promedio de caudales registrados.

$|x_i - \bar{x}|$: Valor absoluto de la desviación de las observaciones individuales con respecto al promedio de caudales registrados.

n : Número de observaciones.

Identificador de objeto digital: (solo para artículos completos, insertado por LACCEI).

ISSN, ISBN: (a insertar por LACCEI).

TABLA I
EFICIENCIA DE UNIFORMIDAD CALCULADA Y CAUDAL REAL

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
\bar{X} (L/h)	0,762	1,113	1,062	0,7365
$\sum_{i=1}^n X_i - \bar{X} $	2,292	0,672	0,42	0,471
$E_{U, Sector} (\%)$	89,08	95,32	97,21	97,83
$E_{U, Promedio} (\%)$	94,86			

Una excelente eficiencia de uniformidad no asegura que se estén descargando los caudales definidos por catálogo, es por lo que se debe prestar atención al caudal (Q) nominal de los goteros utilizados y compararlo con el promedio obtenido de las mediciones realizadas. Los principales factores que pueden generar variaciones entre el caudal nominal y real son las diferencias de presión en los distintos sectores de riego, además de los desgastes y daños por uso. La empresa emplea cintas de goteo de laberinto continuo marca Irritec con una distancia entre goteros de 10 cm, los cuales según catálogo requieren una presión de 0,7 bar o 10 psi para entregar un Q nominal de 0,9 L/h.

Para estimar las presiones de trabajo de la cinta de goteo, se utiliza la información otorgada por el fabricante, con estos datos, se pudo estimar una presión de trabajo aproximada de 0,4 a 0,55 bar para los sectores 1 y 4, y 0,85 a 1 bar en los sectores 2 y 3. Estas variaciones están asociadas a las diferencias de alturas en el terreno de la plantación y la distancia desde la fuente de agua hasta los sectores.

Se realizaron cálculos del consumo anual energético e hídrico de la empresa partir de la información proporcionada por el productor, especificaciones técnicas de la bomba y muestreo ejecutado en terreno. Se consideraron 2 escenarios: alta pluviometría y baja pluviometría (Tabla II)

TABLA II
CONSUMO HÍDRICO Y ENERGÉTICO MENSUAL,
EMPRESA ESTEBAN FRUTILLAS.

	Alta Pluviometría	
	Hídrico (m ³)	Energético (Kwh)
Consumo Anual	23185,62	4201,9
	Baja Pluviometría	
	Hídrico (m ³)	Energético (Kwh)
Consumo Anual	25124,82	4553,9

En el estudio de la situación de empresa se detectan las siguientes limitaciones y deficiencias en el sistema de riego:

1. Diferencia de caudal (Q) y presión (P) en cintas para los distintos sectores.
2. Baja vida útil y deficiente tolerancia a factores externos de los materiales que conforman el sistema de regadío.
3. Inexistencia de un control automatizado en los tiempos de riego.
4. Falta de conocimientos teóricos aplicados a los requerimientos hídricos de la planta y distribución de los emisores.
5. Uso tradicional de materiales sin innovación empleados en la distribución del sistema de riego.
6. Distribución de mangueras en la plantación
7. Riego directo y sin control.
8. Falta de indicadores de rendimiento del sistema.
9. Fallas en el sistema de riego.

Ya detectados los puntos críticos se diseña el plan de mejora.

B. Diseño del Plan de mejora al sistema de regadío.

1. Selección del sistema de regadío.

Se compararon los principales sistemas de riego basados en sistema gravitacional, por aspersión, micro-riego, sub-riego y cultivo hidropónico.

El método para seleccionar el sistema apropiado fue matriz de factores ponderados (Tabla III), considerando los criterios:

- Adaptación a las características del terreno.
- Calidad de agua (características)
- Consumo de agua
- Eficiencia de riego
- Control de agua aplicada
- Riesgo ambiental
- Dispersión de plagas y enfermedades
- Utilización de mano de obra
- Facilidad en la implementación y operación del sistema
- Efectividad ante condiciones climáticas
- Costo de inversión
- Eficiencia energética
- Ayuda en labores del trabajador

Tanto los criterios como los factores de ponderación son asignados en conjunto con el directorio de la empresa. Para relacionar los métodos con los criterios se establecen ponderaciones tanto positivas (+) como negativas (-), donde los valores van de 1 a 5. El valor 1 posee una asignación "muy baja", mientras que 5 es "muy alta".

La matriz entrega como resultado que el sistema adecuado es el **micro-riego**, obteniendo un puntaje de 3,86.

TABLA III
MATRIZ DE FACTORES PONDERADOS PARA SELECCIÓN DE SISTEMA DE RIEGO.

Criterio	Método de riego											Total		
	Adaptación o conciliación del terreno	Cobertura de agua (+)	Consumo hídrico (+)	Eficiencia de riego (+)	Control de agua aplicado (+)	Riego ambiental (+)	Disponibilidad de agua y fertilizantes (+)	Utilización mano de obra (+)	Facilidad en la implementación y mantenimiento (+)	Disponibilidad de sistemas (+)	Costo de inversión (+)		Eficiencia energética (+)	Facilitamiento a las labores de instalación (+)
Factor de ponderación	0,1	0,04	0,15	0,20	0,15	0,02	0,05	0,02	0,05	0,08	0,06	0,02	100%	
Gravitacional														
Por cuencos	1	4	1	1	2	4	1	2	4	1	4	5	1	1,92
Por bordes	1	4	1	1	2	4	1	2	4	1	4	5	1	1,92
Por surcos	2	4	2	1	3	4	1	1	4	1	4	5	2	2,32
Inundaciones	1	5	1	1	2	4	1	2	5	1	4	5	1	2,01
Aspersión														
sólida	3	3	3	4	4	3	3	4	3	2	2	2	4	3,19
semi-móvil	2	3	2	3	3	2	3	1	1	1	3	3	2	2,41
móvil	1	3	2	3	3	2	3	3	1	1	2	2	1	2,21
Micro riego	4	3	4	4	4	2	4	4	4	5	3	3	3	3,86
Sub-riego	4	3	4	4	4	2	2	2	2	2	3	3	4	3,4
Hidropónico	3	4	5	5	5	2	3	2	1	3	1	3	3	3,78
Asignación														
Muy alto														
Alto														
Medio														
Bajo														
Muy bajo														

2. Determinación de las mejoras.

La implementación de mejoras se enfoca en la determinación y regulación de caudales, tiempos de riego y distribución, permitiendo una mejor gestión del recurso hídrico. Se debe tratar la selección de materiales que componen el sistema de riego, adaptándose de mejor manera a la plantación y procurando generar un sistema con mayor vida útil, de fácil operación y mantenimiento.

La Fig.3 presenta el diagrama del sistema de riego actual y la Fig. 4 la distribución de los sectores con la numeración correspondiente al orden de riego actual.

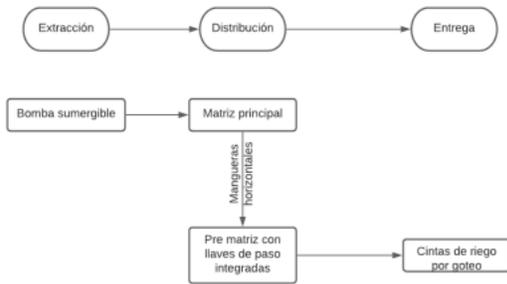


Fig 3. Diagrama proceso de riego.



Fig 4. Distribución de sectores de la plantación

a) Regulación del caudal. (Etapa de distribución)

Se realizaron los cálculos para determinar el punto más alto del terreno, obteniéndose una altura manométrica de 59 m desde el punto de succión de agua. Al realizar el muestreo se obtuvo que el caudal promedio es de 100 L/min, que de acuerdo a los gráficos de rendimiento de la bomba 4XR bomba Leo [7], corresponde a una altura de 32 m. En el punto más alto se observó un caudal de solo 84 L/min. Para solucionar el problema sin tener que invertir en una nueva bomba se aplica el principio de Venturi “A mayor diámetro, mayor presión y menor velocidad”, para seleccionar variados diámetros de tubería y modelar el comportamiento del fluido. Los cambios de diámetro se aprecian en la Tabla IV.

La solución para elevar el caudal en la zona media de la plantación (zonas 23 a 27, Fig. 4) es segregarse sectores aumentando la cantidad de válvulas solenoides e incorporar goteros auto compensados de forma que disminuya el trabajo y la presión. Junto con esto, los cambios de diámetros en las mangueras son fundamentales para aliviar la fluidez hídrica, de manera que el agua recorra con mayor facilidad la plantación.

TABLA IV
CAMBIO DE DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS.

Ubicación	φ actual (in)	φ propuesto (in)
Zona de extracción	1 1/2	1 1/4
Inicio de pendiente	1 1/2	1 1/2
Zona alta	1 1/2	1 1/4

b) Cálculo del tiempo de riego.

Para determinar el tiempo de riego (TR) se realizó un cálculo técnico [8] basado en los requerimientos hídricos de las plantas en sus fases fenológicas, considerando el tipo de suelo, la evapotranspiración, espacio entre hileras y ancho del follaje, dentro de las variables importantes.

En base a los parámetros que presentan las plantas del cultivo en agosto del año 2020, se aplica el cálculo de estimación hídrica por metro lineal a cada variedad cultivada por la empresa: Albión, Cabrillo y Monterrey, también se consideró si se trataba de plantas de primer o segundo año de producción.

Los parámetros calculados son:

Factor de cobertura (Fc) porcentaje de área sombreada de las plantas medido en el ancho del surco.

$$Fc = 0,92 \times Pc + 0,187 \tag{2}$$

$$Pc = X/Eh$$

Pc: Porcentaje de cobertura.
 X: ancho del follaje (m) Eh: espacio entre hileras (m)

Evapotranspiración (ETc) cantidad de agua adecuada para satisfacer la demanda evaporativa.

$$ETc = Eto \times Kc \times Fc \quad (3)$$

Eto: Evapotranspiración de cultivo de referencia (mm)
 Kc: coeficiente de cultivo [adimensional].
 Fc: factor de cobertura [adimensional]

Demanda de agua neta del cultivo (Dn) cantidad de agua que se debe suministrar a la zona radical del cultivo mediante el riego.

$$Dn = Etc - Pe \quad (4)$$

ETc: Evapotranspiración del cultivo [mm/día].
 Pe: Agua aportada por precipitaciones [mm/día].

Demanda de agua bruta del cultivo (Db) cantidad de agua demandada en base a las limitaciones del sistema de riego que se utilice en la plantación.

$$Db = \frac{Dn}{Efr} \times 100 \quad (5)$$

Dn: Demanda de agua neta (mm/día)
 Efr: Eficiencia del sistema de riego [adimensional].

Requerimiento hídrico diario ideal por planta. (RHD)

$$RHD = Db \cdot A \quad (6)$$

Db: Demanda de agua bruta del cultivo en (L/día/m²)
 A: Metro lineal de cultivo multiplicado por X (m²)

Tiempo de Riego (TR) se calcula sobre la base del requerimiento de agua (Litros por metro lineal) y el caudal total de los emisores que riegan ese metro de plantación.

$$TR = \frac{\text{Cantidad de agua requerida por metro lineal (L)}}{\text{Caudal de emisores (L/h)}} \quad (7)$$

Previamente al cálculo de los tiempos de riego teóricos, se realizó un muestreo en terreno para determinar los tiempos reales de riego que emplea la empresa y poder realizar una comparación con los resultados de los cálculos de tiempo de riego teórico. Los muestreos se realizaron por periodos y son presentados en la tabla V

TABLA V.
 TIEMPOS DE RIEGO DE LA EMPRESA POR PERIODOS

Temporada de riego		Tiempo de riego horas/mes
Octubre-febrero		540
Marzo-lluvias		363
Agosto-Septiembre	Alta pluviometría	160
	Baja pluviometría	320
Periodo de lluvias		26,67

Los resultados obtenidos para los tiempos de riego calculados para las 3 variedades de frutillas y el porcentaje de reducción que se obtiene versus los tiempos reales de la plantación se presentan en la tabla VI.

TABLA VI.
 TIEMPOS DE RIEGO TEORICOS POR METRO LINEAL PARA CADA VARIEDAD DE FRUTILLAS EN MES DE AGOSTO.

Variedad de frutilla	Año de producción	Tiempo de Riego Zona media (min/día)	Tiempo de Riego Zona Valle (min/día)	Promedio de los TR de las 2 zonas (h/mes)	% de reducción de TR
Albi6n	1	1,71	1,18	31,92	80
Cabrillo	1	1,20	0,84	22,4	86
Albi6n	2	2,60	1,79	48,2	70
Monterrey	2	1,28	0,88	24,0	85

Con estos resultados se pueden apreciar que la empresa realiza un sobre riego en los cultivos, lo que ocasiona formación de charcos y barro, esto también está relacionado con la distribución de las plantas y los emisores de agua. Si bien los tiempos de riego serán distintos a medida que la planta avance en su desarrollo fenológico, es fundamental que se consideren todas las variables utilizadas para calcular el tiempo de riego teórico, ya que la cantidad hídrica a adicionar será clave para el desarrollo y calidad de la fruta.

c) Estandarización de medidas y radio de riego.

La ubicación es asignada a través de un estudio de medición y mejora realizado en un metro lineal de plantación. (Fig.5) La primera medida es el ancho de follaje máximo en el desarrollo fenológico de una plantación anterior, en base a este se ubica el centro del surco, y se considera un espacio de 5 cm hacia la derecha e izquierda para el posicionamiento de la manguera o cinta de riego, esta medida sólo es referencial ya que se estima en base al requerimiento hídrico desde el cuello de la planta hasta el gotero generando un radio de acción de 10 cm.

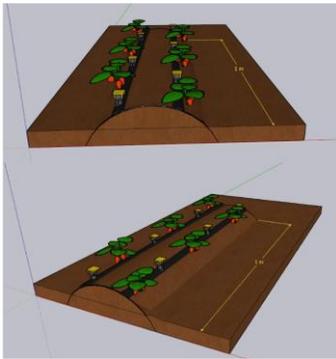


Fig. 5. Modelo 3D surcos de plantación sin estolones.

Se asigna un ancho de 2 cm a los goteros y 3 cm a cada planta en el surco. Los goteros se ubican en 2 cintas paralelas mediante orden *zig-zag*, situándose a 25 cm aproximadamente uno del otro. Las plantas poseen el mismo orden, a una distancia de 22 cm (contabilizando el ancho del gotero) entre plantas. Si bien el radio de acción de los goteros es de 10 cm para las plantas principales, varía al referirse a los estolones. Estos se encuentran situados en la zona media de las cintas a una distancia de 9 cm desde el eje horizontal que forma la planta principal y el gotero, permitiendo que un gotero trabaje a los 10 cm y el otro entre 6 a 7 cm del estolón, como se muestra en la Fig.6.

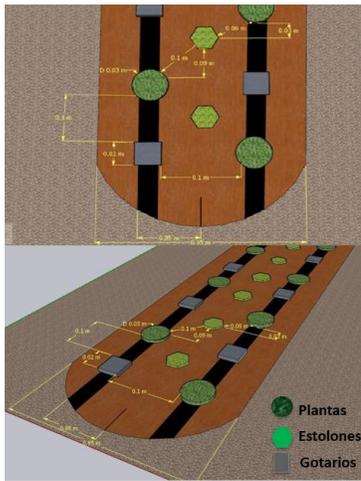


Fig.6. Modelo 3D de la Estandarización de las medidas.

d) Materiales a utilizar en el sistema de riego.

Con el fin de resolver las deficiencias detectadas en el sistema de riego de la empresa, se realizan los siguientes cambios:

- Reemplazar las cintas de goteo por mangueras de polietileno con goteros integrados, estas poseen un espesor mínimo de 1 mm y una distancia entre goteros de 25 cm para adaptarse a la nueva distribución. Esto le permite a la empresa contar con un sistema de riego funcional por un mayor número de temporadas, con la condicionante de mantener y estandarizar la distribución de plantas y longitud del camellón. Las

mangueras con goteros integrados serán en su mayoría de flujo turbulento, sin embargo, se utilizarán mangueras con goteros auto compensantes en los 15 sectores que presentan mayor diferencia en el caudal entregado, con el fin de asegurar la uniformidad en el riego.

- Se reemplaza el mulch plástico negro típicamente empleado en este tipo de berries por un mulch bicolor. Este es recomendado para zonas áridas con problemas de agua.

Por otra parte, se reemplazará el mulch plástico negro empleado actualmente por un mulch bicolor.

- Para la automatización del sistema, se debe adquirir un programador de riego que permita la programación de 40 sectores, su accionamiento será mediante electroválvulas de 1plg ubicadas en cada sector y diseñadas especialmente para micro riego, que reemplazarán las llaves de paso. Para obtener un sistema completamente automatizado el programador seleccionado debe ser compatible con el sistema de arranque de la bomba, para esto se debe instalar un relé.

- En cuanto a las mangueras primarias, su diámetro debe ser de 1 ¼ plg y 1 ½ plg, mientras que las secundarias de 1 ¼ plg. El diámetro de las mangueras terciarias debe disminuir a 1plg para adaptarse correctamente a las electroválvulas.

- Los conectores ubicados en las mangueras primarias y secundarias serán los que se utilizan actualmente en la empresa y su diámetro dependerá de la conexión que se desee realizar.

e) Automatización del sistema de riego.

La automatización del sistema genera una mejora significativa en la eficiencia de riego, permitiendo controlar y ajustar eficientemente los tiempos de riego, reduciendo el error humano.

Por otra parte, integrar sensores facilita la obtención de datos en tiempo real e indicadores de rendimiento del sistema, facilitando la detección de anomalías. Los considerados de mayor utilidad son: de presiones y caudales, sensores de lluvia, humedad y temperatura. Estos sensores en su mayoría pueden conectarse a programadores de riego compatibles.

1.Requisitos de los componentes del sistema.

Se seleccionaron los componentes que permiten un sistema funcional para el regadío de las frutillas, estos deben cumplir con las siguientes características:

Programador de riego:

- Capacidad para 40 y 50 sectores, ya sea de manera estándar o con la adición de módulos.
- Alimentación eléctrica (mediante corriente 220/230V.). Para utilizar electroválvulas solenoides de 24V. Con alimentación de soporte mediante pilas o baterías que permitan mantener la hora, fecha y calendario de riego.
- Compatibilidad con sensor meteorológico y de caudal.
- Circuito de arranque de bomba (mediante relé de arranque).
- Indicador de fallas en el sistema.
- Debe admitir programas independientes.

Electroválvulas:

- Alimentación de 24VAC.
- Capacidad de entregar caudales bajos.
- Admisión de presión de trabajo entre 1,0 a 10 bares.

Relé de arranque:

- Compatibilidad con el programador de riego utilizado.

Sensor de caudal:

- Compatibilidad con el programador de riego utilizado.

Sensor meteorológico:

- Compatibilidad con el programador de riego utilizado.

Sensor de nivel de agua:

- Funcional en el pozo donde va ubicada la bomba (diámetro, profundidad).

Cable eléctrico:

- Doble aislamiento.
- Resistente a agresiones mecánicas, químicas y humedad.

Tubo conduit de PVC para enrutar y proteger cable eléctrico:

- Resistente a impactos, calor y humedad.
- Diámetro acorde al cable eléctrico utilizado.

Caja estanca:

- Impermeable.
- Resistencia al impacto, calor y baja temperatura.

Gabinete metálico:

- Dimensiones acordes al programador, relé de arranque y cableado.
- Cerradura de seguridad.
- Métodos de fijación a pared.
- Agujero de salida de cables.
- Respiradero para evitar condensación en su interior.

Adaptadores/conectores de mangueras:

- Diámetro acorde a electroválvulas y manguera tipo plana (tubo de polietileno) utilizadas.
- Conexión con hilos en un extremo y conexión para plana en el otro.

2. Programación de tiempos de riego.

La programación inicial de los tiempos de riego se genera considerando el cálculo teórico y la experiencia del productor, haciendo una distinción entre las variedades de plantas y la fase en que se encuentren, para lograr esto se requiere un programador que permita la creación de programas de riego independientes. Como los tiempos de riego dependen de varios factores, la programación cambia a lo largo del año según las necesidades del cultivo y características meteorológicas que se presenten.

2. Distribución del sistema de riego automatizado.

La distribución de los componentes del sistema de riego automatizado tiene estrecha relación con la distribución de la plantación.

Para facilitar el control y mantención, en su origen se ubica la bomba de riego, sensor de nivel de agua, el gabinete metálico con el programador de riego y relé de arranque de bomba en su interior. Estos elementos se almacenan dentro de la bodega del sistema de riego que se muestra en la Fig.7, para ser protegidos ante factores climáticos y restringir su acceso al personal no autorizado. El sensor meteorológico se ubica a un costado externo de la bodega para facilitar su conexión. Desde el interior del gabinete metálico emerge el conjunto de cables que se distribuye en la plantación y se conectan a los sensores de caudal y electroválvulas encargadas de abrir o restringir el paso de agua a los distintos sectores. El circuito de cables a lo largo de la plantación se realizó con tubos Conduit de PVC, enterrados para evitar entorpecer la circulación de los trabajadores, disminuir riesgos de accidentes y prevenir daños en el sistema. Para adaptarse a la distribución de la plantación se instalan cajas estancas que facilitan la conexión a los sensores de caudal y las electroválvulas, además de generar las desviaciones necesarias para abarcar toda la superficie y llegar a todos los sectores de la plantación.

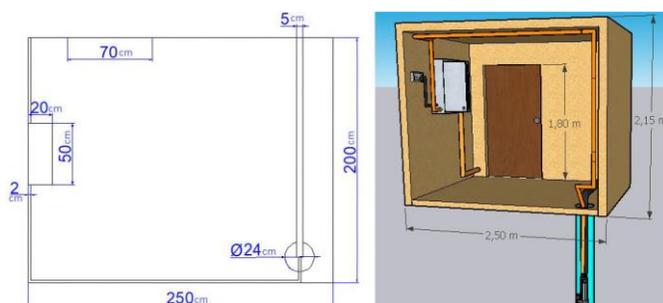


Fig.7. Modelo 3D de bodega del sistema de riego.

IV. RESULTADOS ECONÓMICOS.

La propuesta de mejora se elaboró considerando dos etapas de implementación de 1,5 Ha c/u.

La inversión necesaria para implementar el proyecto asciende a la suma de \$33.714.861 en 2 años.

Los valores netos obtenidos para el VAN y TIR, son los siguientes:

- VAN1: \$212.515.533 - TIR1: 88%
- VAN2: \$52.986.341 - TIR2: 55%

Al analizar los resultados obtenidos en el VAN y la TIR en ambas situaciones planteadas y complementarlas con el PRI, se puede concluir que el proyecto es altamente rentable y el período de recuperación de la inversión es relativamente bajo.

V. CONCLUSIÓN

Se crear un plan integral de mejora al sistema de regadío, que permite optimizar el consumo hídrico de la plantación de frutillas. Se establecen consideraciones, como el aumento de la vida útil del sistema, nueva distribución de plantas que permite aprovechar de mejor manera el terreno y aumentar la producción. Todas las mejoras propuestas fueron planteadas con el objeto de mitigar los efectos adversos provocados por la sequía que afecta a la provincia de Cardenal Caro, permitiendo a la empresa mantener e incluso aumentar su nivel de producción con un riego continuo y uniforme en toda la plantación.

De los sistemas de riego, se determinó que para el proyecto el micro riego es el adecuado, ya que posee un bajo consumo energético, gran adaptabilidad a diversos tipos de terreno y clima, bajo costo de mantenimiento y su automatización es relativamente sencilla. Se recomienda la utilización de un mulch plástico bicolor para retener humedad.

En cuanto a la evaluación económica, esta arrojó indicadores favorables.

REFERENCIAS

- [1] Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (FCEA) <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>, 2017.
- [2] Ordoñez Gálvez Juan Julio. "Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico". Sociedad Geográfica de Lima Dirección, Lima, Perú.
- [3] Fundación Chile. <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/radiografia-del-agua.pdf>, 2019.
- [4] Dirección general de aguas, Ministerio de obras Públicas, Decretos declaración zona de escasez vigentes <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- [5] Censo, 2017. Densidad Poblacional Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
- [6] Archivo digital Ilustre Municipalidad de Litueche. 2020.
- [7] Leo Grup. <http://pump-leo.com/1-11-1-9-deep-well-pump.html>
- [8] Undurraga, P., y Vargas, S. (eds.) 2013. Manual de frutilla. Boletín INIA N° 262. 112 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile