

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil



**DISEÑO DE SISTEMA DE REGADIO EN ZONA RURAL CON ENERGIA SOLAR  
FOTOVOLTICA**

**ELIZABETH RODE GODOY ORTIZ**

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

**Profesor Guía**

Guillermo Bustamante L.

**Profesor Informante**

Felipe González M.

Concepción, Marzo de 2016

# Resumen

El presente proyecto se realizó con la finalidad de diseñar un sistema de riego apropiado, utilizando energía fotovoltaica, para una parcela ubicada en el sector de Cambrales, Yumbel, octava región, destinada a la producción de tomates.

Analizando la situación actual del predio, se evidencia que el método de riego utilizado hasta la fecha es poco eficiente, ya que, existen pérdidas innecesarias de agua y baja producción. Sumado a esto, se observó también que la fuente de energía utilizada actualmente para impulsar el agua, resulta inestable y no asegura un suministro continuo que satisfaga las necesidades del predio.

Finalmente, se opta por cambiar el sistema de riego por goteo y se decide aumentar la superficie cultivada. Una vez definido, se determina subdividir el predio en 5 sectores los cuales serán regados en forma consecutiva.

Con lo anterior se determina la necesidad de agua y las presiones necesarias para que el sistema funcione adecuadamente. Una vez determinadas las presiones, caudales y optado por riego directo, se escoge la bomba más apropiada, disponible en el mercado, y se calcula el requerimiento de energía, traducido a paneles solares, para que el sistema funcione.

Una vez determinado el sistema de impulsión, se realiza la evaluación económica del proyecto concluyendo que, bajo el precio promedio de venta en el mercado y sólo variando, en los distintos escenarios, la producción, el proyecto resulta rentable y la inversión se recupera dentro del periodo de proyección de 10 años.

Para comprobar que tan voluble resulta el proyecto ante variaciones en el precio de venta, se realiza un análisis de sensibilidad de precio, determinándose que para pequeñas variaciones en el precio de venta para el escenario más desfavorable, el proyecto deja de ser rentable y la inversión se logra recuperar apenas al final del periodo.

# Abstract

This project was carried out with the purpose of designing an irrigation system using photovoltaic energy for a plot of land used for the production of tomatoes, located in Cambrales, Yumbel, VIII region.

After analyzing the current situation of the property, it becomes evident that the watering system used to date is inefficient, since it presents unnecessary water leaks and is of low production. It was also observed that the source of energy currently being used for the system is unstable and does not ensure a continuous supply of water that can satisfy the needs of the property.

Finally, it is decided to change the drip irrigation system and also to extend the cultivated surface. Once it was defined, the plot is divided in 5 sectors which will be irrigated consecutively.

Taking this into consideration, the necessary water and pressure for the system to work properly is determined. Once the pressures and flows are established, and once the direct irrigation approach is chosen, the best pump available in the market for these purposes is selected, also calculating energy requirements - translated into solar panels - for the system to work properly.

Once the pumping system is selected, a financial evaluation of the project takes place which concluded that the project is profitable and the investment can be recovered within the forecasted period of 10 years.

To prove how voluble the project is given any variations in the sales price, a price sensitivity analysis is undertaken, which determines that for slight sales price variations in the most unfavorable scenario, the project stops being profitable and the investment can be recovered only at the end of the project.

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>2 CAPÍTULO II.....</b>	<b>12</b>
2.1 Antecedentes Históricos del bombeo solar. ....	12
2.2 Sistemas de Bombeo Solar Fotovoltaico. ....	15
2.2.1 Energía Solar Fotovoltaico.....	15
2.2.1.1 Células Fotovoltaicas. ....	16
2.2.1.2 Bombas Solares Para Agua. ....	21
2.2.1.3 Panel Fotovoltaico. ....	21
2.2.2 Bombas Eléctricas. ....	22
2.2.2.1 Volumen Bombeado Versus Carga Dinámica.....	23
<b>3 CAPÍTULO III.....</b>	<b>26</b>
3.1 Contexto Geográfico. ....	26
3.1.1 Datos de la Parcela .....	26
3.2 Cálculo de Sistema de Riego Eficiente.....	27
3.2.1 Introducción al Riego .....	28
3.3 Diseño Agronómico.....	30
3.3.1 Demanda de Agua .....	31
3.3.2 Aplicación de la Demanda Diaria de Agua por Cada Planta .....	34
3.3.2.1 Selección de Emisor .....	35
3.3.3 Distanciamiento de Goteros (dg).....	38
3.3.4 Tiempo de Riego para Cultivo .....	38
3.4 Caudal de Diseño y Tiempo de Operación .....	39

<b>3.5</b>	<b>Diseño Hidráulico .....</b>	<b>40</b>
3.5.1	Introducción .....	40
3.5.2	Pérdidas de Cargas .....	40
3.5.2.1	Pérdidas Singulares .....	43
3.5.3	Cálculo de Laterales .....	45
3.5.4	Cálculo de Submatrices .....	47
3.5.5	Cálculo de Matriz. ....	49
3.5.6	Cálculo de Bomba. ....	50
3.5.7	Bomba a Instalar.....	52
3.5.8	Ventajas .....	53
3.5.9	Características .....	53
3.5.10	Diseño de Paneles Solares por Medio de Tabla. ....	54
3.5.11	Diseño de Paneles por Medio de Fórmula. ....	56
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1</b>	<b>Estructura del Proyecto.....</b>	<b>58</b>
4.1.1	Viabilidad Económica .....	59
4.1.1.1	Inversión Inicial .....	59
4.1.1.2	Tiempo de Evaluación del Proyecto .....	59
4.1.1.3	Costos Fijos.....	59
4.1.1.4	Costo Variable.....	59
4.1.1.5	Valor de Desecho .....	60
4.1.1.6	Ingresos de la Operación.....	60
4.1.1.7	Criterios de Evaluación.....	60
4.1.1.7.1	Valor Actual Neto (VAN).....	60
4.1.1.7.2	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	61
4.1.1.7.3	Período de Recuperación del Capital (PRI) .....	61
<b>4.2</b>	<b>Evaluación Económica de Producción de Tomates.....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Ingresos Anuales .....	62
4.2.1.1.1	Proyección Optimista .....	64
4.2.1.1.2	Proyección Realista .....	64
4.2.1.1.3	Proyección Pesimista .....	65

4.2.2	Costos Anuales.....	65
4.2.2.1.1	Costos Fijos.....	65
4.2.2.1.2	Costos Variables.....	66
4.2.3	Capital de Trabajo .....	70
4.2.4	Inversión .....	70
4.2.5	Financiamiento Mediante Crédito .....	71
<b>4.3</b>	<b>Flujos Netos de Caja en los Distintos Escenarios .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Escenario Actual .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Escenario Optimista.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Escenario Realista.....</b>	<b>76</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Escenario Pesimista.....</b>	<b>77</b>
4.3.5	Análisis del Flujo Neto de Caja.....	78
4.3.6	Tasa de Descuento (VAN).....	78
4.3.7	Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).....	80
4.3.8	Análisis de Sensibilidad de Precio.....	81
4.3.9	Análisis de Resultados de Evaluación de Proyecto.....	82
<b>4.4</b>	<b>Pérdida de Producción por Relación Agua Rendimiento .....</b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>

## Índice de Tablas

Correlativo	Contenido	Página
2-1	Clasificación de celdas solares	16
2-2	Voltajes y Corrientes de Salida Típicas para un panel de 60w 12volt	18
2-3	Ventajas y Desventajas de Bombas Fotovoltaicas	20
3-1	Ventajas y Desventajas del Riego por goteo.	26
3-2	Evapotranspiración Potencial del Sector.	28
3-3	Caudal de emisores	31
3-4	Constante para diferentes materiales.	36
3-5	Coeficiente de Christiansen (F).	37
3-6	Constante K	39
3-7	Datos para Cálculo de Lateral.	40
3-8	Datos para el cálculo de la Sub matriz	42
3-9	Datos matriz	45
4-1	Volumen actual de tomates en predio.	58
4-2	Valores de Venta actuales.	58
4-3	Ingresos por Ventas Actuales.	58
4-4	Ingresos por año. Escenario Optimista.	59
4-5	Ingresos por año. Escenario Realista.	59
4-6	Ingresos por año. Escenario Pesimista.	60
4-7	Costos Operativos Fijos.	61
4-8	Costo Variable. Escenario Actual.	62
4-9	Costo Variable. Escenario Optimista.	63
4-10	Costo Variable. Escenario Real.	64
4-11	Costo Variable. Escenario Pesimista.	64
4-12	Inversión Inicial.	66
4-13	Crédito a Solicitar.	68
4-14	Flujo de Caja. Escenario Actual.	69
4-15	Flujo de Caja. Escenario Optimista.	70
4-16	Flujo de Caja. Escenario Real.	71
4-17	Flujo de Caja. Escenario Pesimista.	72
4-18	VAN Escenario Actual.	73
4-19	VAN Escenario Optimista.	73
4-20	VAN Escenario Realista.	74
4-21	VAN Escenario Pesimista.	74
4-22	PRI Escenario Actual.	75
4-23	PRI Escenario Optimista.	75
4-24	PRI Escenario Realista.	75
4-25	PRI Escenario Pesimista	75
4-26	Pérdidas en producción por Falta de Riego	80

## Índice de Imágenes

Correlativo	Contenido	Página
2-1	Reflectorio del siglo XVIII.	9
2-2	Función de un panel Fotovoltaico.	13
2-3	Tipos de celdas: a) Amorfas; b) Monocristalinas; c) Policristalinas.	15
3-1	Imagen Satelital Centrada en Parcela de Yumbel.	22
3-2	Fotografía del Campo.	23
3-3	Esquema de aspectos a Considerar para el riego por goteo.	25
3-4	Marcos de plantación más utilizados en Chile.	27
3-5	Esquema Marco de Plantación.	29
3-6	Formación de bulbo mojado y tipo de Suelo.	32
3-7	Esquema de Traslape de bulbos.	34
3-8	Esquema de Distribución del sistema de riego.	38
3-9	Esquema Sector Tipo.	40
3-10	Esquema Cálculo del Lateral.	41
3-11	Esquema Pendiente Terreno.	43
3-12	Esquema Cálculo de Sub matriz.	43
3-13	Esquema Cálculo Matriz.	45
3-14	Esquema Cálculo Bomba.	46
3-15	Panel Solar Proyecto	50

## Índice de Gráficos

Correlativo	Contenido	Página
1-1	Instalación de Energía Fotovoltaica Mundial Acumulada.	7
2-1	Evolución del costo de Paneles Solares	16
2-2	Intervalos comunes donde se aplican los diferentes tipos de bombas.	20
3-1	Pérdidas de agua de Irrigación.	24
3-2	Eficiencia según método de riego.	25
3-3	Esquema de aspectos a considerar para el riego con goteo	25
3-4	Curva de la Bomba para el Proyecto	49
4-5	Radiación Máxima del sector.	51
4-1	Precios Agropecuarios Observados.	57

# Introducción

En la actualidad, el uso de energías renovables es una opción que cada día tiene más adeptos, existen de varios tipos como geotermia, eólica, solar, etc. Sin embargo, hay una que ha capturado la atención como lo es la energía fotovoltaica, la cual como el resto de las energías renovables, consiste en convertir directamente la radiación solar en electricidad. Esta es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable.

En el último tiempo, la energía fotovoltaica ya es competitiva para electrificar emplazamientos en zonas relativamente alejadas del Interconectado Central, como viviendas rurales, señalizaciones, alumbrado público, equipo de energía, bombeo de agua, etc.

A través de los años se han realizado estudios relacionados con la energía solar fotovoltaica, concitando gran interés por tratarse del aprovechamiento de energías renovables, lo que significa avances importantes en esta área. En concreto, el actual mercado fotovoltaico crece de forma contundente y lo más importante, respaldado por el interés gubernamental a nivel mundial.

Para ejemplificar la situación actual de la tecnología solar fotovoltaica, se muestra en el gráfico 1-1 la evolución significativa que ha tenido la instalación fotovoltaica en el mundo<sup>1</sup>.

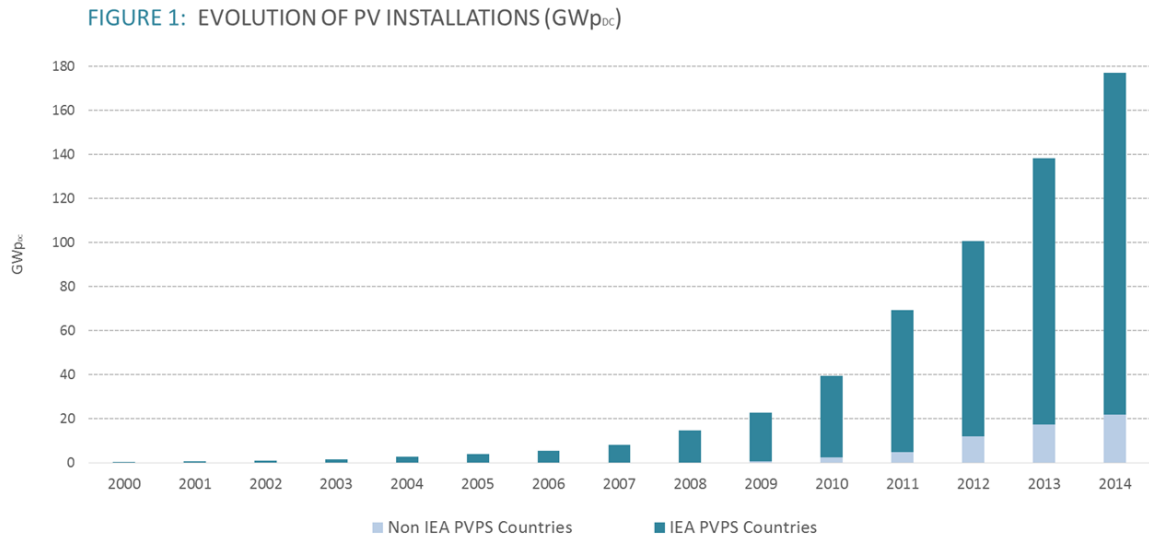
En relación a Chile, hay que considerar que aún existen zonas que no cuentan con los servicios básicos, es decir, electricidad y agua potable. Según el Censo<sup>2</sup> del año 2002, el 4% de la población no cuenta con electricidad y el 9% de la población no tiene agua potable.

---

<sup>1</sup> Fuente: Earth Policy Institute de European Photovoltaic Industry Association (EPIA)

<sup>2</sup><http://www.ine.cl/cd2002/sintesis censal.pdf>

Gráfico 1-1: Instalación de energía Fotovoltaica mundial acumulada:



Source: IEA PVPS

Fuente: [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

Chile cuenta con la posibilidad de implementar otras formas de energía para los sectores más alejados del interconectado central, como lo es aprovechar la energía solar para producir electricidad y destinarla a diferentes usos.

# Capítulo I

El presente proyecto pretende a través de la energía solar, independizar del sistema eléctrico rural, el regadío de una parcela ubicada en el sector de Cambrales, Yumbel y aumentar la producción de tomates por medio de un sistema de riego por goteo impulsado por energía solar.

## 1.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de riego apropiado, con el fin de optimizar la utilización de agua disponible, utilizando fuentes de energía alternativa, como la solar fotovoltaica, para la producción de tomates en la comuna de Yumbel, Octava región de Chile.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Proponer un sistema de riego apropiado, acorde a las características del sector.
- Calcular los requerimientos de agua necesarios para satisfacer la necesidad de agua del cultivo.
- Sugerir el tipo de bomba más adecuada para el sistema.
- Determinar el requerimiento de generación de energía para que el sistema funcione y la cantidad de paneles necesarios para satisfacer esa necesidad.
- Realizar la evaluación económica del sistema propuesto.

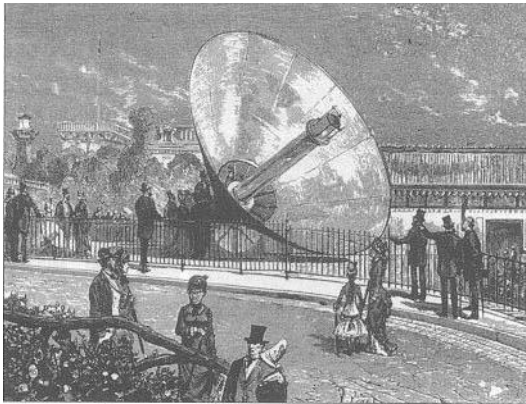
## 2 Capítulo II

### 2.1 Antecedentes Históricos del bombeo solar.

La utilización de la energía proveniente del sol no es un concepto nuevo, ya en la antigua Roma, China y Grecia, se utilizaba mediante espejos curvos, para aplicaciones bélicas, ya que, su objetivo se basaba en focalizar los rayos del sol sobre un objeto, luego se aplicaba una intensidad suficiente de modo que pudieran hacer arder un elemento, o elementos específicos en pocos segundos.

Durante el renacimiento se realiza la primera construcción de espejos de mayor diámetro, debido al mayor desarrollo de la tecnología. Pero en el siglo XVIII Peter Hoesen construye un reflector formado por numerosos y pequeños espejos planos, fáciles de montar sobre una estructura con la forma deseada, logrando así la marca de tres metros de diámetro.

Imagen 2-1: Reflectorio del Siglo XVIII



Fuente:internet. (Wikipedia)

En el siglo XVIII De Saussure fue el primero que desarrolló una forma de concentrar la energía calórica del sol, mediante la construcción de un invernadero miniatura, conocida como la caja caliente. Este invento se construye a partir de cinco cajas cuadradas de vidrio, las cuales van disminuyendo de tamaño de 12 pulgadas a 6 pulgadas, luego a 4 pulgadas hasta 2 pulgadas de alto. Las bases de las cajas fueron cortadas para que las cinco cajas

pudiesen ser apiladas una dentro de la otra, sobre una mesa de madera negra. Después de exponer el aparato al sol durante varias horas, variando la posición de este, de forma que los rayos solares siempre penetraron el vidrio de las cubiertas de las cajas de forma perpendicular, de Saussure midió la temperatura en el interior. Si bien, la caja exterior estaba solo un par de grados más caliente que la temperatura ambiental, se registró un aumento de la temperatura en cada caja, hasta llegar a la de menor dimensión, la que registró una temperatura de 87°C.

La caja caliente se convirtió en un prototipo de los colectores solares. A finales del siglo XIX y XX, estos colectores eran capaces de suministrar el vapor necesario para mover diversas maquinarias, en ese período se realizaron las primeras instalaciones de bombeo solar.

En 1860, el ingeniero francés Augustin Mouchot, comenzó sus estudios sobre la energía solar debido a la dependencia energética de su país. Toda su experiencia se plasmó en su libro titulado “La chaleur Solaire” donde se refleja la experiencia relacionada con el aprovechamiento del calor del sol. Sus experimentos buscaban la capacidad calorífica de los rayos solares para evaporar el agua en recipientes cerrados, de manera de elevar la presión en su interior y aprovechar ésta para generar movimiento. El objetivo era sustituir el combustible (leña o carbón) de las calderas de las máquinas de vapor por el calor solar. Para esto disponía de un reflector cónico en cuyo fondo había una caldera cubierta con un vidrio. El sistema de Mouchot fue capaz de mover una máquina de vapor de medio caballo de potencia. En la prueba, la máquina fue utilizada para bombear agua a razón de 2.000 litros a la hora. Se realizaron numerosos experimentos con el sistema de Mouchot para el movimiento de maquinarias a vapor, estos intentaban mejorar la concentración para conseguir presiones de vapor más altas, pero el tiempo que duración de estas experiencias fue limitada porque el escenario se tornó menos favorable para la energía solar dado que la inestabilidad de las relaciones entre Francia e Inglaterra (quién proveía de carbón), se desvaneció.

Existieron otros varios intentos dirigidos para hacer funcionar maquinarias de vapor a base de calor solar, los que tenían como objetivo final el bombeo de agua.

En 1899, EEUU intentando optimizar el sistema de Mouchot, Aubrey Eneas construyó un sistema con un diámetro de 10 metros entre los bordes del reflector, que estaba formado por más de 1.800 pequeños espejos de vidrio plateado. Distintos mecanismos y artefactos de relojería permitirían la orientación de los espejos hacia el sol, optimizando así la captación de los rayos solares. En 1901, el motor solar de Eneas quedó instalado en la primera granja de avestruces de los EEUU, este motor accionaba una bomba capaz de regar 120 hectáreas de árboles frutales, extrayendo 6,4 m<sup>3</sup> de agua por minuto de un pozo situado a 5 metros de profundidad. Posteriormente, alcanza a comercializar 5 motores solares. Uno de los principales obstáculos de estos motores era su costo elevado versus el sistema tradicional, elevándose de dos a cinco veces más. Surgieron, además, otras dificultades en los espejos, ya que estos sufrieron daños producto del clima (tormentas y granizo) lo que, combinado con la influencia de sus competidores sin escrúpulos, contribuyeron a ensuciar la reputación de Eneas.

Tratando de sustituir las calderas de carbón o madera de las maquinarias de vapor, los motores solares desarrollados, tanto por Mouchot como por Eneas, estaban basados en el empleo de reflectores para concentrar los rayos solares y poder alcanzar las elevadas temperaturas requeridas. Lamentablemente se producían diversos problemas los que dificultaban la operación, tales como:

- Elevada temperatura en el interior del colector que originaba fuertes pérdidas de calor.
- Los reflectores debían ser grandes, complejos y muy costosos.
- Eran vulnerables a vientos fuertes.
- Eran vulnerables a las inclemencias del tiempo.
- Debían mirar siempre al sol, lo que implicaba tener a una persona exclusiva para desempeñar esta función.
- Cuando no existía soleamiento directo, el colector simplemente no funcionaba.

Sin embargo, en los motores solares desarrollados para trabajar a bajas temperaturas, los problemas antes mencionados prácticamente desaparecían. Un ejemplo de esto, es la

bomba solar del ingeniero francés Charles Tallier, que en vez de usar agua, utilizó hidrato de amoníaco que hierve a 33°C o el dióxido de azufre que lo hace a 10°C. En sus bombas de calor, el colector estaba construido con simples láminas de metal oscuro, entre medio de las cuales circulaba el líquido para ser evaporado. La presión del amoníaco alcanza las 2,7 atmósferas y la bomba podría impulsar unos 1.300 litros de agua por hora. Estimó que en un clima con mayor horas solares que el francés, se podrían alcanzar los 3.600 litros de agua por hora.

Willsie y Boyle, ingenieros americanos, en 1908 mejoraron el diseño de Tellier. Usaban agua en la caja caliente que trasladaba su energía al dióxido de azufre mediante un intercambiador. El vapor de dióxido era finalmente el encargado de mover el motor. De este modo, los circuitos en la caja caliente no debían soportar grandes presiones, quedando estas limitadas al circuito más pequeño, que unía el motor con el intercambiador. Además, acumulaban calor en depósitos aislados que contenían agua, lo que permitió a sus plantas funcionar 24 horas ininterrumpidas. A pesar de su rentabilidad, dos años después la maquina productora de gas era introducida en el sudoeste de los EEUU, quemaba carbón para producir gas artificial y los motores que consumían gas artificial eran de dos a cuatro veces más eficientes que los convencionales basados en la combustión.

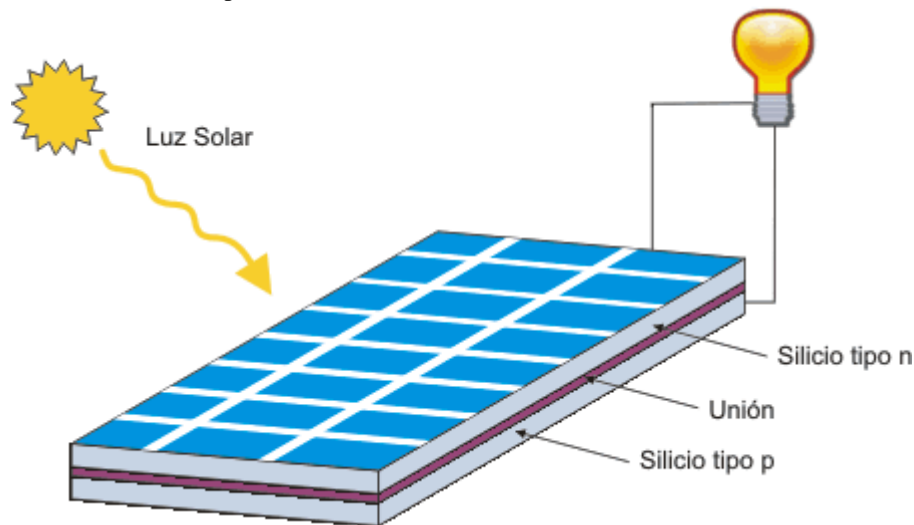
De tal manera, el motor solar perdió parte de su atractivo económico cuando el transporte del carbón bajó su precio, por lo que dejó de fabricarse la bomba solar.

## **2.2 Sistemas de Bombeo Solar Fotovoltaico.**

### **2.2.1 Energía Solar Fotovoltaico.**

La energía solar fotovoltaica, es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol a energía eléctrica (concepto base de conservación de energía). Esta se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores que pueden convertir la luz del sol directamente en electricidad. De esta manera la luz genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener corriente eléctrica directa (DC).

Imagen2-2 Función de un panel fotovoltaico



Fuente: [www.textoscientificos.com](http://www.textoscientificos.com)

En el año 1839 fue la primera vez que se observó el efecto fotovoltaico, consistente en la producción de electricidad, debido a un material que absorbía la luz solar. En 1885, Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico al extender una capa de selenio sobre un soporte metálico y recubrirla con una fina capa de oro. En 1941 se construyó la primera célula fotovoltaica de silicio, material que se emplea en la actualidad. Pero no se empezaron a fabricar hasta décadas posteriores. Recién en 1960 se empezaron a ocupar en la industria espacial para alimentar de energía a los satélites artificiales. A mediados de la década siguiente se volvió a investigar sus aplicaciones en la tierra.

### ***2.2.1.1 Células Fotovoltaicas.***

La conversión de la radiación solar en una corriente de electrones tiene lugar en la célula fotovoltaica, un dispositivo formado por una delgada placa de material semiconductor, a menudo silicio, correctamente tratada. Este tratamiento se caracteriza por varios procesos químicos, entre los que están los así llamados "dopados". Insertando en la estructura

cristalina del silicio impurezas, es decir átomos de boro y fósforo, se genera un campo eléctrico y también se ponen a disposición las cargas necesarias para la formación de la corriente eléctrica. Ésta se crea cuando la célula, cuyas dos caras están conectadas a un aparato eléctrico, está expuesta a la luz.

La energía que es posible utilizar depende de las características del material que constituye la célula: la eficiencia de conversión (porcentaje de energía contenida en las radiaciones solares que es transformada en energía eléctrica disponible a los bornes) de las células de silicio disponibles en el mercado normalmente está comprendido entre el 13% y el 20%, mientras que en laboratorio se han alcanzado eficiencias de hasta 44,7%<sup>3</sup>.

Los módulos se juntan para componer un panel, cuyo tamaño varía según las aplicaciones específicas.

La mayoría de las células fotovoltaicas comerciales están hechas de sílice con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, y son capaces de generar corriente de 2 a 4 amperes a un voltaje aproximado de 0,5 volts y una potencia de 1,2 a 2 Wpen un área de 100 cm<sup>2</sup> de celdas de silicio cristalino, utilizando como fuente la radiación luminosa (Irradiancia 1000 W/m<sup>2</sup> a una temperatura de celda de 25°C)<sup>4</sup>. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión y otra parte por transmisión. El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficiencia de las celdas. Hay que considerar que existen tres tipos de celda (Imagen 2-3) las cuales se definirán a continuación:

1. Módulos de silicio Monocristalino: Estas células se componen de secciones de silicio puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro a una temperatura de 1500°C. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla cristal germen de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos produciendo líquido, que queda orientado siguiendo la estructura del

---

<sup>3</sup> <http://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/presseinformationen-2013/world-record-solar-cell-with-44.7-efficiency>

<sup>4</sup> Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica. Sandia National Laboratories, Mexico.

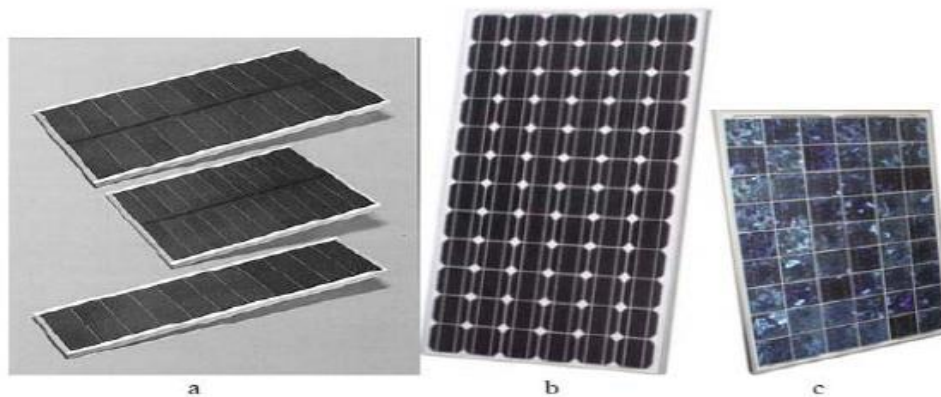
cristal. De esta forma se obtiene un monocristal que posteriormente se corta en obleas. Son reconocibles por su forma circular o rectangular. Este tipo de célula, de entre las existentes en el mercado, es la más eficiente, con aproximadamente 15% al 20%<sup>5</sup> de eficiencia, es decir, es la fracción de energía del sol que se convierte a energía eléctrica.

2. Módulo de silicio Multicristalinas o policristalina: Estas células están hechas de silicio fundido que posteriormente se solidifica y se cristaliza en lingotes. Los tamaños de los cristales están determinado en su mayor parte por la tasa a la cual el lingote es enfriado. Se tendrán granos más grandes si el enfriamiento es lento. Las células se obtienen cortando el lingote en finas láminas. Las células policristalinas son menos caras de producir que las monocristalinas, debido a que el proceso de manufactura es más simple y la pureza de la materia prima es menor. Sin embargo, éstas son ligeramente menos eficientes, con eficiencias promedio bordeando el 12%.
3. Módulos de silicio Amorfos: Estas células están hechas de una delgada capa de sílice no cristalino puesto en una base rígida o flexible. Éstas son relativamente fáciles de fabricar y son menos caras que las células monocristalinas y policristalinas, pero sus eficiencias solo bordean el 6%. El bajo costo hace que ellas sean la mejor opción donde la alta eficiencia y el espacio no son factores importantes.

---

<sup>5</sup> [www.deltavolt.pe/solar/pvpaneles](http://www.deltavolt.pe/solar/pvpaneles)

Imagen 2-3 Tipos de Celdas: a) Amorfos; b) monocristalinos; c) policristalino



Fuente: Wikipedia.

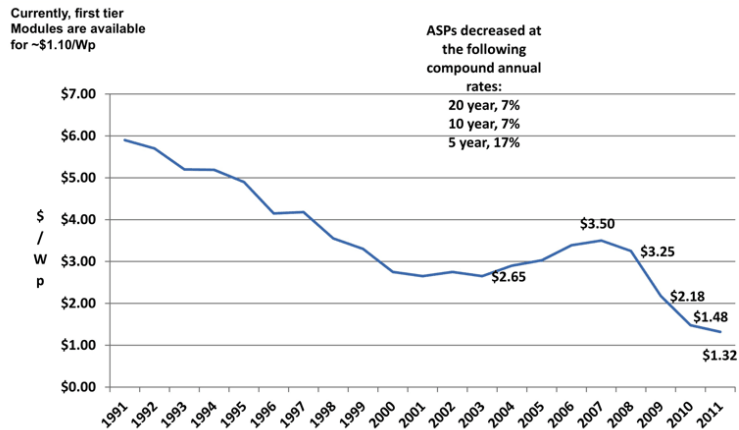
**Tabla 2-1 Clasificación de las celdas solares**

Células	Rendimiento en Laboratorio	Rendimiento Directo	Características	Fabricación
Monocristalino	30%	18-28%	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre si.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
Policristalino	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
Amorfo	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón) pero no existe conexión visible entre células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plásticos

Fuente: [www.deltavolt.pe/solar/pvpaneles](http://www.deltavolt.pe/solar/pvpaneles)

Debido a las mejoras en la tecnología de fabricación y las ventajas de su producción masiva, se ha logrado una disminución significativa del costo de las celdas fotovoltaicas llegando hasta un 90% en la disminución del costo de fabricación desde el comienzo de la década de los 70 (Gráfico 2-2). Estos módulos se pueden encontrar en una amplia gama de tamaños y son fabricados por diferentes compañías alrededor del mundo. La durabilidad es mayor a los 30 años y su confiabilidad es buena.

Gráfico 2-1: Evolución del costo de Paneles Solares



Fuente: NavigantConsulting Inc.

Las causas principales de las fallas de los módulos son la rotura de las celdas y la laminación del encapsulante, que permite la entrada de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas.

Los paneles fotovoltaicos deben ser instalados de modo que maximice la cantidad de exposición directa al sol. Por esta razón hay que tener en cuenta que se deben instalar los paneles en áreas libres de árboles o edificios, con orientación hacia el norte en el hemisferio sur y hacia el sur en el hemisferio norte, y deben estar inclinadas en el ángulo igual a la latitud del lugar. Si los paneles se usan estacionalmente, así como muchos de los sistemas de bombeo solar que actualmente existen, entonces se puede usar un Tracker para inclinar el panel en la medida que el sol se mueve en el cielo. Este sistema puede incrementar el volumen de agua bombeado en un 40% en el verano y en un 5% a 10% en invierno comparado con un panel fijo. Con un sistema de Tracking se puede usar una bomba más pequeña o menor área de paneles para reducir el costo total, estos funcionan mejor en tiempo soleado y despejado.

### ***2.2.1.2 Bombas Solares Para Agua.***

La extracción de agua, ya sea, de pozos o embalses para ser utilizada en riego u otros constituye una de las aplicaciones más rentables de la electricidad fotovoltaica. Un sistema de bombeo alimentado por energía solar está compuesto de dos componentes básicos:

1. Panel Fotovoltaico
2. Bomba eléctrica

### ***2.2.1.3 Panel Fotovoltaico.***

Los paneles proporcionan la potencia, cada panel está compuesto por varias células solares las que producen corriente directa (DC) cuando estas celdas se exponen a la luz. La corriente DC, generada por los paneles, es recolectada por el cableado en el panel. Luego, es abastecida a una bomba DC que bombea agua mientras el sol brilla, también se puede almacenar esta energía en baterías para un posterior uso por las bombas. El convertidor de frecuencia se usa para pasar de corriente directa a corriente alterna, para usar bombas con un motor de inducción de corriente alterna.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menos que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55Wp es capaz de producir 55W más o menos un 10% de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>) y sus celdas poseen una temperatura de 25°C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55W.

En el mercado, los fabricantes de paneles normalmente miden el voltaje (volts) y la corriente de salida en amperes (A) de los paneles bajo condiciones de potencia Peak (Watts = Volts x Amperes) es la máxima potencia que puede obtener un panel fotovoltaico. Típicos voltajes y corrientes de salida para un panel de 60W se muestra en la tabla 2-2. La corriente directa (DC) producida por un panel fotovoltaico es mucho más sensible a la

intensidad de la luz incidente en el panel que el voltaje. A groso modo, si la intensidad de luz se reduce a la mitad, la corriente directa (DC) también se reduce a la mitad y el voltaje se reduce muy poco.

**Tabla 2-2 Voltaje y Corriente de salida típicas para un panel 60W-12Vollt**

Máxima Potencia	60 Watts
Máximo Voltaje	16,9 Volts
Máxima corriente	3,55 Amps

Un panel fotovoltaico individual puede ser conectado de dos maneras:

1. Serie
2. Paralelo

El voltaje de salida de paneles, si son conectados en serie, es la suma de todos los voltajes producidos en cada uno de los paneles, es decir el máximo voltaje de salida de dos paneles de 60W-12V mostrados en la tabla 2-2 conectados en serie es 33,8 volts (16,9+16,9 volts = 33,8volts). Con esto, una bomba DC de 24 volts requiere un mínimo de dos paneles de 12V conectados en serie. La corriente de salida de estos paneles en serie es igual a la corriente de salida de un panel individual 3,55Amps.

El voltaje y corriente de salida de paneles conectados en paralelo es el opuesto de los paneles conectados en serie. La corriente de salida es la suma de todas las corrientes (Amps) de cada uno de los paneles y el voltaje de salida es igual al voltaje producido por paneles individuales.

### **2.2.2 Bombas Eléctricas.**

El otro componente principal del sistema es la bomba. Las bombas eléctricas que se conectan a la red eléctrica con corriente alterna (AC), generalmente no están hechas para

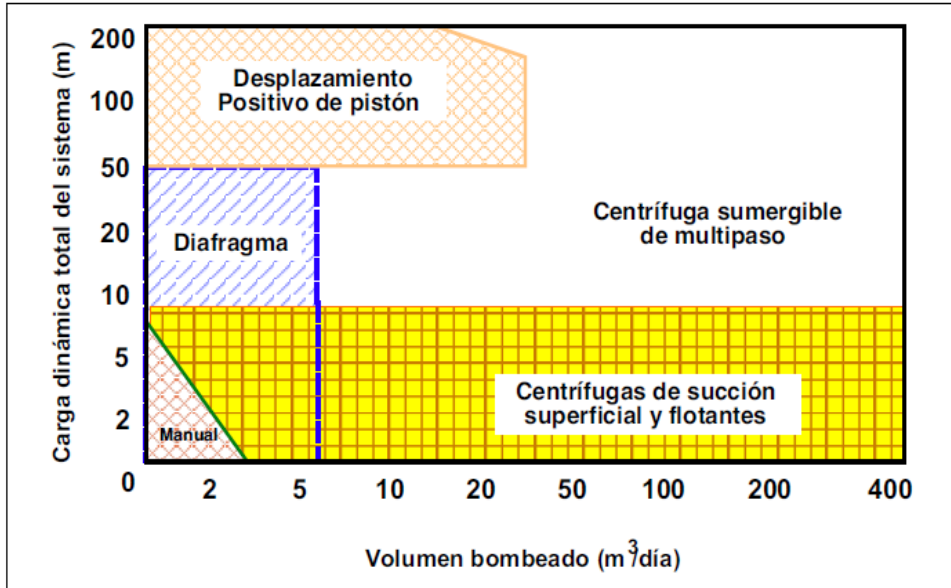
operar en forma demasiado eficiente, ya que no tienen limitaciones de la potencia disponible. Las bombas solares están diseñadas para el uso de corriente directa (DC) que proporciona el panel fotovoltaico o un conjunto de baterías, aunque existen en el mercado motores de corriente alterna con frecuencia variable y un controlador de corriente alterna de tres fases que le permite ser alimentadas directamente por los paneles solares. Debido a que los paneles fotovoltaicos son relativamente caros y su generación de potencia puede ser variable, las bombas solares tienen que ser en lo posible muy eficientes, ya que deben maximizar los litros de agua bombeados por watt o unidad de electricidad usada. Estas bombas deben ser capaces de poder bombear en condiciones desfavorable, es decir, baja luz.

#### **2.2.2.1 Volumen Bombeado Versus Carga Dinámica.**

Existen variados tipos de bombas, y su utilización va a depender de los requerimientos del sistema en cuestión. Es así que, las bombas centrífugas sumergibles que conjugan mejor con el volumen de fluido desplazado versus carga dinámica, ya que, con éstas es posible mover grandes masas de agua con gastos medianos a grandes (9 a 200m). Si el sistema requiere desplazar grandes masas de agua por día con cargas dinámicas bajas, el tipo de bomba que más se adecua a esta necesidad es del tipo centrífugas de succión; o si por el contrario, lo que se requiere es mayores alturas dinámicas y caudales bajos a medios, el tipo de bomba más apropiado es el de pistón de desplazamiento positivo.

El grafico 2-2 indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según los requerimientos del sistema bombeo.

Gráfico 2-2: Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bomba solares



Fuente: [www.solar.nmsu.edu](http://www.solar.nmsu.edu)

Tabla 2-3 Ventajas y Desventajas de Bombas Fotovoltaicas

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrifugas sumergible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil disponibilidad.</li> <li>- Puede tolerar pequeñas cantidades de arena.</li> <li>- Pueden utilizar el agua como lubricante.</li> <li>- Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.</li> <li>- Manejan flujos altos.</li> <li>- Operan a cargas dinámicas grandes.</li> <li>- Tienen un diseño modular que permite obtener más módulos fotovoltaicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.</li> <li>- Se dañan si trabajan en seco.</li> <li>- Deben extraerse para darles mantenimiento.</li> <li>- Sufre desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.</li> </ul>
Centrifugas de succión superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil disponibilidad.</li> <li>- Puede tolerar pequeñas cantidades de arena.</li> <li>- Son de fácil operación y mantenimiento.</li> <li>- Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.</li> <li>- Manejan flujos altos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.</li> <li>- Sufren descaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.</li> <li>- Pueden dañarse por el congelamiento de climas</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8mts.</li> </ul>	fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soportan cargas dinámicas muy grandes.</li> <li>- La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere reemplazo regular de sellos del pistón.</li> <li>- No toleran arena o sedimentos.</li> <li>- La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro.</li> <li>- Se debe extraer el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos.</li> <li>- No dan gran flujo.</li> </ul>
Diafragma	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operan a cargas menores de 40 metros.</li> <li>- Son muy económicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No toleran arenas o sedimentos.</li> <li>- No trabajan a carga dinámicas grandes.</li> <li>- Bajos flujos.</li> </ul>

Fuente: [www.solar.nmsu.edu](http://www.solar.nmsu.edu)

## 3 Capítulo III

### 3.1 Contexto Geográfico.

Lo primero es definir la zona geográfica donde se realizará el proyecto. En este caso es en la Región del Bío-Bío en la localidad de Yumbel, ubicada a 70 km de la ciudad de Concepción. La siguiente imagen, que se obtuvo del servidor de aplicaciones de mapas de Google, muestra la ubicación geográfica (Imagen 3-1). Esta zona se caracteriza por ser una zona agraria. La cual cuenta con cultivos de cereales, gran variedad de frutas y ganadería en bajo volumen.

Imagen 3-1 Imagen satelital centrada en parcela de Yumbel



Fuente: <http://maps.google.cl/>

#### 3.1.1 Datos de la Parcela

- Propietario: Aurora Ceballos
- Dirección: Lote 2 La Tirana Cambrales, Yumbel.
- Terreno: 20.000m<sup>2</sup>
- Inmuebles: Cuenta con dos casas
- Terreno de Cultivo de tomate: 15.000 m<sup>2</sup>

- Dotación de Agua: Cuenta con una puntera y un río (En verano de 2014, se realiza prueba de agotamiento a la puntera, extrayendo un caudal de 15 m<sup>3</sup>/h durante 5 horas continuas. Al final de la prueba, la puntera acusa una depresión de 4 m. en el nivel la napa).
- Electricidad: Cuenta con electricidad rural, dependiente de la empresa Coelcha.

**Imagen 3-2 Fotografía del Campo**



Fuente: Toma directa en terreno.

### **3.2 Cálculo de Sistema de Riego Eficiente**

Para diseñar un sistema de riego eficiente se deben cumplir los siguientes pasos:

1. Diseño Agronómico.
2. Diseño Hidráulico.
3. Cálculo de Bomba.
4. Cálculo de requerimiento de energía, que en este caso serán los paneles solares.

A continuación se hará una breve introducción a la importancia de un sistema de riego eficiente.

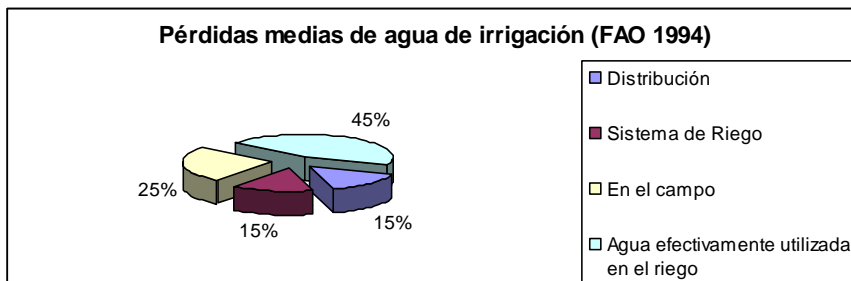
### 3.2.1 Introducción al Riego

El agua es fundamental para la vida, debido a esto los asentamientos tanto humanos como agrícolas se han ubicado y desarrollado preferentemente cercanos a una fuente de agua. Esto se observa claramente a lo largo de Chile.

Pero debido a los cambios climáticos que nos vemos enfrentados, se hacen más frecuentes los ciclos de sequías. Estos provocan problema a la población por el aumento en la demanda de agua para el uso doméstico, la industria y la agricultura, esta última es la que presenta el mayor nivel de consumo.

Debido a esta necesidad y la alta demanda de agua que necesita la agricultura, surge la urgencia de usar metodologías de riego de alta eficiencia como goteo, cintas, Microjet y micro aspersor.

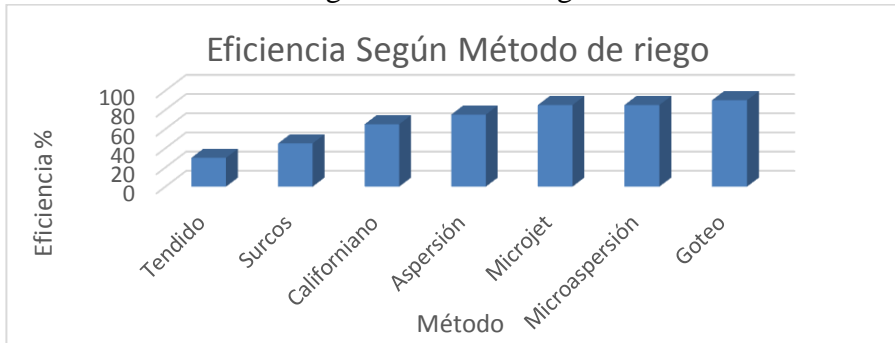
**Gráfico 3-1 Pérdidas de agua de irrigación.**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de FAO.

El gráfico 3-1 refleja claramente el riego ineficiente en agricultura, llegando a niveles de pérdida de un promedio de un 55%. A continuación por medio del siguiente gráfico (3-2), se mostrará los distintos métodos de riego.

Gráfico 3-2 Eficiencia según método de riego.

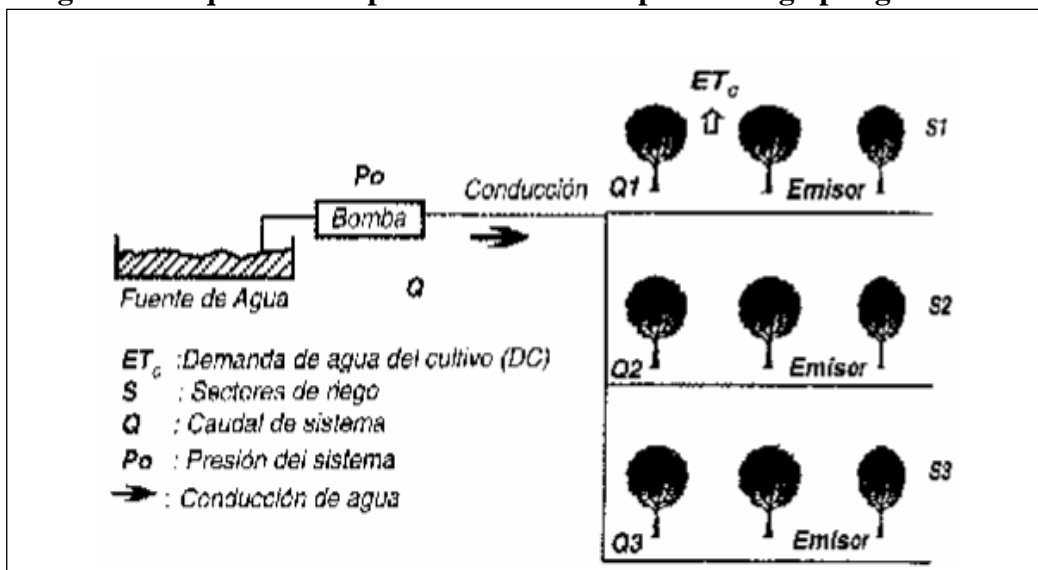


Fuente: Elaboración Propia en base a datos de INIA.

Cada método de riego posee características propias de implementación y manejo, las cuales influirán en la eficiencia de su aplicación y un buen aprovechamiento de las plantas. En el gráfico 3-2 quedan en evidencia la eficiencia tanto del método Microjet, micro aspersión y por goteo, debido a que el agua se conduce por tuberías con cierta presión y es aplicada en zonas localizadas.

El método a utilizar será el de tipo “Por Goteo”, por lo que existen criterios generales que se debe tomar en cuenta para un diseño óptimo de riego. Se debe considerar aspectos agronómicos e hidráulicos, como se indica en el siguiente esquema:

Imagen 3-3 Esquema de aspectos a considerar para el riego por goteo.



Fuente: Manual de Cultivo de tomates 2009, Facultad de Agronomía; U. Chile.

En la tabla 3-1 se refleja claramente las ventajas y desventajas del método por Goteo.

**Tabla 3-1 Ventajas y Desventajas. Riego por goteo.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menos pérdidas de agua.	Obstrucción de emisores.
No entorpece las labores de poda, cosecha, etc.	Mayores costo de instalación.
Cultivo en condiciones óptimas de absorción.	Mantenimiento del sistema de riego.
Requiere poca mano de obra.	
Utilización óptima y económica de los fertilizantes.	
Adaptable a todo tipo de suelos y topografías.	
Permite el uso de agua salina.	
Permite el uso de pozo con aforos bajos.	
Menor incidencia en enfermedades.	
Posibilidad de automatización.	

Fuente: Análisis de metodología de riego, Universidad de Concepción-Departamento de Agronomía, 1999.

En los criterios de diseño se deben considerar cinco variables, las tres primeras son de tipo agronómico que influirán en el diseño, estas son:

1. Demanda de agua del cultivo.
2. Sector de riego.
3. Caudal del sistema.

Los últimos dos criterios son de tipo hidráulico, estos son:

4. Presión del sistema.
5. Conducción del agua.

### **3.3 Diseño Agronómico**

Antes de abordar de lleno esta etapa del proyecto, es necesario repasar algunas definiciones que serán esenciales:

*Marco de plantación (MP):* Corresponde al área destinada a cada planta dentro del cultivo. Tiene relación directa con las características del cultivo (Imagen 3-5). Se determina multiplicando la distancia entre hileras y la distancia entre dos plantas consecutivas de una misma hilera.

*Demanda Neta del Cultivo (DNC):* Corresponde a la cantidad de agua de que requerirá cada planta por día.

*Demanda Bruta de Cultivo (DBC):* Corresponde a la cantidad real de agua que será necesaria considerar por planta.

*Porcentaje de Cobertura (PC):* Corresponde al porcentaje del MP que se debe considerar en la demanda neta del cultivo, relacionada al follaje de la planta.

**Imagen 3-4 Marcos de plantación más utilizados en Chile.**

MARCO DE PLANTACION en Chile	
Tomate para consumo fresco sistema botado 60 – 70 cm EH y 40 cm SH	3,8 pl/m <sup>2</sup>
Tomate para consumo fresco sistema alambrado 100 – 120 cm EH y 30 – 40 cm SH	2,6 pl/m <sup>2</sup>
Tomate para consumo fresco sistema encoliguado 60 – 70 cm EH y 40 cm SH	3,8 pl/m <sup>2</sup>
Tomate para consumo fresco bajo invernadero 1,5 m con 2 H y 33 cm SH	4,0 pl/m <sup>2</sup>
Tomate industrial 75 cm EH y 0,33 cm SH	4,0 pl/m <sup>2</sup>

Fuente: Manual de cultivo de tomate, 2009. Facultad de ciencias Agronómicas, U. de Chile.

### 3.3.1 Demanda de Agua

La demanda de agua de un cultivo, dependerá del estado del desarrollo en que se encuentra el vegetal, es decir: brotación, desarrollo de frutos o cosecha. Las condiciones climáticas, humedad, viento, característica del suelo, profundidad del suelo, infiltración, disponibilidad de agua, etc. Todos estos son factores que hay que tener en cuenta para tener un diseño lo más óptimo posible.

Se utilizará una forma práctica de determinar la demanda de agua, por medio del Mapa de evapotranspiración Chile (ET<sub>p</sub>-CNR), disponible en las oficinas de la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Con este dato podemos calcular la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)

$$ET_c = ET_p * K_c \left( \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right)$$

ET<sub>c</sub> = Evapotranspiración del cultivo en mm/día

ET<sub>p</sub> = Evapotranspiración potencial mm/día

K<sub>c</sub> = Coeficiente del cultivo, el cual varía según el tipo y la distinta etapa del desarrollo del cultivo.

**Tabla 3-2 Evapotranspiración Potencial del sector**

INFORME DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL		
Comuna: CABRERO		
Coordenadas UTM Huso 19: X=188752 Y=5899238		
Evapotranspiración potencial anual: 1172 mm		
Meses de mayor evapotranspiración potencial		
Mes	[mm]	[m3/há]
Enero	191	1912
Diciembre	180	1799
Febrero	150	1498
Distribución por mes de la evapotranspiración potencial		
Mes	[mm]	[m3/há]
Enero	191	1912
Febrero	150	1498
Marzo	116	1163
Abril	70	699
Mayo	41	413
Junio	28	278
Julio	32	315
Agosto	46	463
Septiembre	71	707
Octubre	107	1071
Noviembre	141	1406
Diciembre	180	1799

Fuente: Comisión Nacional de Riego.

Datos:

El coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) del tomate en la etapa mediado del periodo es de 1,0 según la tabla de la Comisión Nacional de Riego.

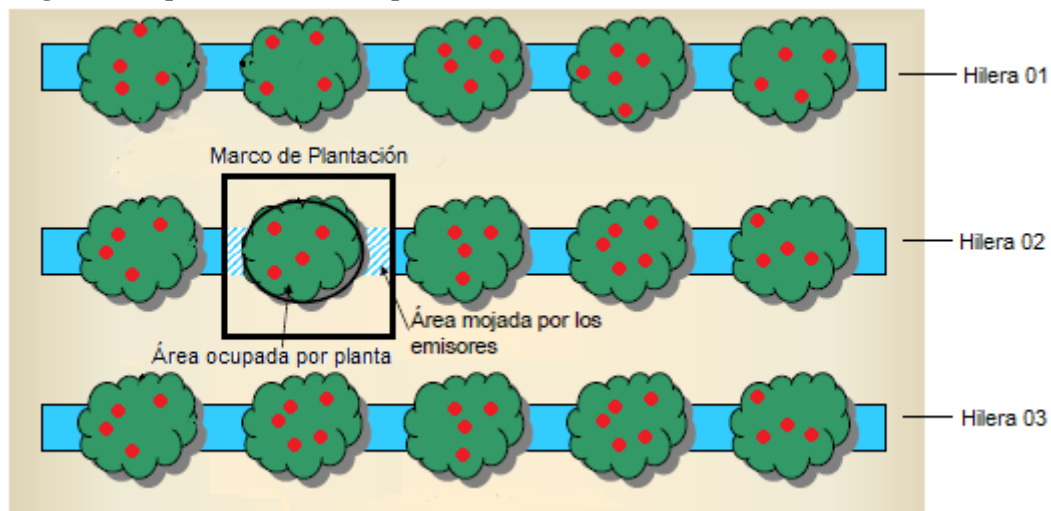
La  $ET_p$  anual es de 1172 mm en el sector de Cambrales, Yumbel y los meses con mayor evapotranspiración potencial son noviembre, diciembre, enero y febrero. El mes que se consideró para el cálculo fue Enero con 191 mm/mes (Tabla 3-2).

$$ET_c = ET_p * K_c \left( \frac{\text{mm}}{\text{mes}} \right) = 191 * 1,0 = 191 \left( \frac{\text{mm}}{\text{mes}} \right) = 6,36 \left( \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right)$$

Teniendo los mm/día ( $ET_c$ ) hay que transformarlo a litros/planta/día, para esto se debe multiplicar los mm/día por el marco de plantación (MP) y por el porcentaje de cubrimiento (PC) del follaje en relación al marco de plantación, de esta manera las demandas netas del cultivo (D.N.C) será:

$$D.N.C = \frac{ET_c * M.P * P.C}{100}$$

Imagen 3-5 Esquema de Marco de plantación



Fuente: Manual de Cultivo de Tomates 2009, Facultad de Agronomía, U. de Chile.

Datos:

Distancia entre Hileras (sh) = 1,10m

Distancia entre plantas (sp) = 0,3m

Marco de plantación (MP) = sh \* sp = 1,10 \* 0,3 = 0,33 m<sup>2</sup>/planta

Porcentaje Cobertura = 80%

ET<sub>c</sub> = 6,36 [mm/día] = 0,0064 [m/día]

$$D.N.C = \frac{ET_c * M.P * P.C}{100} = \frac{0,0064 \left[ \frac{m}{día} \right] * \left( 0,33 \left[ \frac{m^2}{planta} \right] \right) * 80}{100} = 0,00169 \frac{m^3}{planta * día}$$

$$D.N.C = 1,69 \frac{l}{planta * día}$$

Debido que el método a utilizar no es 100% eficiente, la demanda real o bruta (DBC) será igual a la demanda neta dividida por la eficiencia, la cual es de 90% (tabla CNR), es decir:

$$D.B.C = \frac{D.N.C.}{Eficiencia} = \frac{1,69 * 100}{90} = 1,88 \text{ litros/planta/día}$$

### 3.3.2 Aplicación de la Demanda Diaria de Agua por Cada Planta

El método a utilizar como se ha mencionado anteriormente será el de goteo, para esto se debe definir tres aspectos:

1. Tipo de emisor.
2. Número de emisores por planta.
3. Espaciamiento entre ellos.

### 3.3.2.1 Selección de Emisor

Para tomar esta decisión se deben considerar la relación del caudal/presión, material de construcción, sensibilidad a la obstrucción, forma de inserción en tubería lateral, etc.

En el mercado nacional se encuentran disponibles una amplia gama de emisores, de los cuales existe abundante información de sus características hidráulicas y de diseño.

Los de uso común entregan un caudal de 1,5 a 2 litros/hora y operan con una presión de operación de 10 a 15 m.c.a, para este tipo de cultivo.

Sea cual sea la conformación del esquema de regadío, este estará formado como mínimo por redes laterales, las cuales entregarán el agua a cada una de las plantas a cultivar mediante un gotero.

Datos para lateral simple integrado:

Espaciamiento emisores (e) = 0,30m

Caudal emisor (qg) = 2 lph (Tabla 3-3)

Presión (h) = 10m.c.a (Catalogo)

$$\text{Caudal por } 100\text{m} = \left( \frac{100}{0,30} \right) * 2 = 666,67 \text{ lph} / 100\text{m}$$

Tabla 3-3 Caudal de emisores

DIAMETRO (mm)	CAUDAL (L/H)	VARIACIÓN CAUDAL (+-%)	DIST ENTRE GOTEROS (M)				
			0.33	0.40	0.50	0.75	1.00
12	2,65	5%	26	30	35	47	58
		10%	33	38	45	61	75
16	2	5%	33	62	73	98	124
		10%	69	80	95	128	157
	4	5%	37	42	50	68	83
		10%	47	55	65	88	108



Fuente: Vinilit.

Se debe considerar además, que los laterales no deben exceder los 70 metros de largo máximo; el largo en subida no debe superar los 40 metros y en bajada no debe superar los 60 metros.

En relación al número de emisores por planta, éste va a depender principalmente de la proporción de suelo que se quiere mojar por planta (P.S.M), la cual no debe ser inferior a 80% del marco de plantación, ya que esto tiene relación directa con la cantidad de agua que recibirá el suelo, por lo que, con un porcentaje inferior al 80% existe la posibilidad que la plantación se seque en el periodo crítico.

De esta forma el número de goteros por planta (ng) puede quedar definido por lo siguiente:

$$n.g \geq \frac{M.P * P.S.M}{100 * A_{mg}}$$

MP: Marco de plantación (m<sup>2</sup>).

A<sub>mg</sub>: Área mojada por emisor (m<sup>2</sup>).

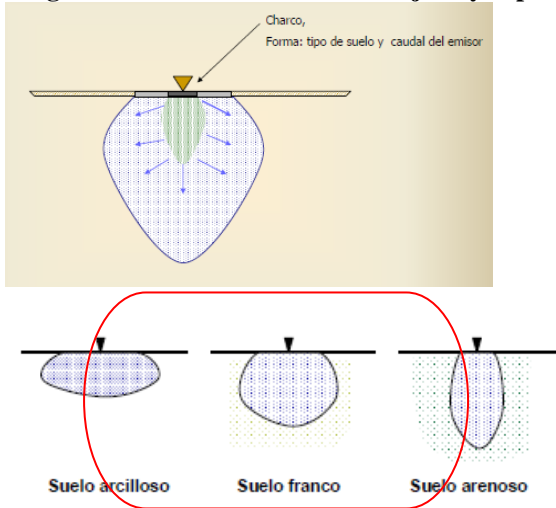
PSM: Porcentaje de suelo a mojar (%).

El área mojada por emisor (A<sub>mg</sub>), es la proyección horizontal del bulbo húmedo que forma ese emisor. Esto se determina ya sea por pruebas en terreno o mediante fórmulas o tablas. También es de importancia la profundidad de raíces que posee el cultivo en estudio, éste posee raíces profundas, las cuales alcanzan hasta 2 metros<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Manual de cultivo de tomates 2009, Facultad de Agronomía; U. Chile

**Imagen 3-6 Formación de Bulbo Mojado y Tipo de Suelo.**



Fuente: Manual de Cultivo de Tomates 2009, Facultad de Agronomía, U. de Chile.

$$A_{mg} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{3,14 * 0,7^2}{4} = 0,38m^2$$

D: Diámetro mojado de un suelo franco arcilloso es de 0,7 [m] (tabla CNR)

Por lo tanto, para el cultivo se necesitaran los siguientes emisores por planta:

$$n_g \geq \frac{MP * PSM}{100 * A_{mg}}$$

$$n_g = \frac{0,33 \left[ \frac{m^2}{planta} \right] * 100}{100 * 0,38 [m^2]} = 0,87 \left[ \frac{1}{planta} \right] \approx 1 \left[ \frac{1}{planta} \right]$$

∴ Número de goteros por planta es 1

### 3.3.3 Distanciamiento de Goteros (dg)

El distanciamiento relativo entre goteros, es decir, la distancia debe haber entre uno y otro para cumplir con la cantidad de emisores por planta, está determinado por:

$$dg = \frac{sp}{n.g} = \frac{0,3 \left[ \frac{m}{\text{planta}} \right]}{1 \left[ \frac{1}{\text{planta}} \right]} = 0,3m \approx 30cm$$

Con este distanciamiento se asegura un traslape de los bulbos de mojamiento y se cumple el requisito de porcentaje de suelo humedecido.

Imagen 3-7 Esquema de traslape de bulbos



Fuente: Manual de Cultivo de Tomates 2009, Facultad de Agronomía, U. de Chile.

### 3.3.4 Tiempo de Riego para Cultivo

El tiempo de riego diario (TRD) se calcula en base a la demanda bruta del cultivo (DBC), el número de goteros por planta (ng) y el caudal del emisor o gotero (qg). Este último, lo consideramos de 2 lph.(tabla 3-3)

$$T.R.D = \frac{DBC}{ng * qg} = \frac{1,88 \left[ \frac{1}{\text{planta}} \right]}{1 \left[ \frac{1}{\text{planta}} \right] * 2 \left[ \frac{1}{h} \right]} = 0,94[h]$$

Con lo anterior, cada gotero debiese estar funcionando diariamente durante 0,94 horas a razón de 2 lph para satisfacer la demanda de agua de cada planta. Si agrupamos todos aquellos goteros que funcionarán en forma simultánea, tendremos el área a cultivar dividida en sectores de riego. Cada sector deberá regarse durante 0,94 horas.

Se considerarán 5 sectores de riego, para el riego directo, con lo cual el número de plantas por sector estará determinado por:

NºSectores de Riego = 5 sectores

$$\text{Área Sector} = \frac{\text{superficie total}}{\text{NºSectores}} = \frac{150[\text{m}] * 100[\text{m}]}{5} = 3.000\text{m}^2$$

$$\text{NºPlantas por sector (np)} = \frac{\text{Area Sector}}{\text{MP}} = \frac{3.000[\text{m}^2]}{0,33\left[\frac{\text{m}^2}{\text{planta}}\right]} = 9.090,90\text{plantas} \approx 9.090 \text{ plantas}$$

### ***3.4 Caudal de Diseño y Tiempo de Operación***

El caudal de diseño está directamente relacionado con la superficie del cultivo, con el tipo de emisor seleccionado y la cantidad de éstos calculados para la superficie de cultivo.

Es así que, para cada sector se requerirá el siguiente caudal diario:

$$Q_{\text{diseño}} = np * ng * qg$$

$$Q_{\text{diseño}} = 9.090[\text{planta}] * 1\left[\frac{1}{\text{planta}}\right] * 2\left[\frac{1}{\text{h}}\right] = 18.180\left[\frac{1}{\text{h}}\right]$$

$$Q_{\text{diseño}} = 18,18\text{m}^3/\text{h}$$

De esta forma, el tiempo de operación diario y la cantidad total de agua diaria necesaria para el crecimiento adecuado del cultivo estará dada por:

Tiempo de operación al día (TO) = N° Sectores \* TRD

Tiempo de operación al día (TO) = 5 \* 0,94[h] = 4,7 horas

Volumen diario de riego = TO \* Q<sub>diseño</sub> = 4,7[h] \* 18.180 [l/h] = 85.446 [l] ≈ 86 [m<sup>3</sup>]

Recapitulando, para abastecer cada sector se requerirán 18,18 m<sup>3</sup>/día y para satisfacer la demanda total del cultivo, se requerirán 86 m<sup>3</sup>/día.

### 3.5 Diseño Hidráulico.

#### 3.5.1 Introducción

Este punto es fundamental ya que se deberá calcular la presión de operación, las pérdidas de cargas, la elección de diámetro adecuado, entre otros.

Para poder interiorizarse en estos temas se hará una breve introducción de algunos conceptos necesarios para poder realizar los cálculos hidráulicos.

#### 3.5.2 Pérdidas de Cargas

El roce que se produce al interior de las tuberías producto del paso del agua se conoce como pérdidas de carga. Hay que considerar que a mayor velocidad del agua y menor diámetro de tubería es mayor el roce, es decir reduce la energía del agua. La cual es entregada por la bomba.

Para el cálculo de pérdidas de cargas se utilizará la fórmula de Hazen-Williams, debido que es aplicable a diferentes tipos de tuberías.

$$hf = \frac{10,667}{D^{4,871}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} * L \quad \dots \text{Formula Hazen - Williams}$$

Dónde:

Q: Caudal m<sup>3</sup>/s.

D: Diámetro interior de tubería en metros.

L: Largo total de tubería en metros.

C: Constante que depende de material de la tubería.

Hf: Pérdida de carga en m.c.a.

**Tabla 3-4 Constante para diferentes materiales**

Material	Constante C	Material	Constante C
PVC	150	Acero Nuevo	120
PE	150	Acero usado	110
Fibrocemento140	140	Fundición Nueva	100

*Fuente: Vininit*

También se utilizará el coeficiente de Christiansen (F), el cual es de utilidad cuando se debe calcular las pérdidas de carga con salidas múltiples.

$$F = \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{\beta-1}}{6n^2} \quad \dots \quad \text{Formula Christiansen}$$

Esta fórmula se encuentra tabulada, por lo que se utilizará la tabla 3-5.

**Tabla 3-5 Coeficiente de Christiansen (F)**

n	$l_0 = 1$					n	$l_0 = 1/2$				
	$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$		$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625	2	0,532	0,525	0,518	0,512	0,500
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518	3	0,455	0,448	0,441	0,434	0,422
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469	4	0,426	0,419	0,412	0,405	0,393
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440	5	0,410	0,403	0,397	0,390	0,378
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421	6	0,401	0,394	0,387	0,381	0,369
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408	7	0,395	0,338	0,381	0,375	0,363
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398	8	0,390	0,383	0,377	0,370	0,358
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391	9	0,387	0,380	0,374	0,367	0,355
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385	10	0,384	0,378	0,371	0,365	0,353
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380	11	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376	12	0,380	0,374	0,367	0,361	0,349
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373	13	0,379	0,372	0,366	0,360	0,348
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370	14	0,378	0,371	0,365	0,358	0,347
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367	15	0,377	0,370	0,364	0,357	0,346
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365	16	0,376	0,369	0,363	0,357	0,345
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363	17	0,375	0,368	0,362	0,356	0,344
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361	18	0,374	0,368	0,361	0,355	0,343
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360	19	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359	20	0,373	0,367	0,360	0,354	0,342
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357	22	0,372	0,366	0,359	0,353	0,341
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355	24	0,372	0,365	0,359	0,352	0,341
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353	26	0,371	0,364	0,358	0,351	0,340
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351	28	0,370	0,364	0,357	0,351	0,340
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350	30	0,370	0,363	0,357	0,350	0,339
35	0,378	0,371	0,356	0,359	0,347	35	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345	40	0,368	0,362	0,355	0,349	0,349
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343	50	0,367	0,361	0,354	0,348	0,337
60	0,372	0,366	0,359	0,353	0,342	100	0,365	0,359	0,353	0,347	0,335
80	0,370	0,363	0,357	0,351	0,340	200	0,365	0,358	0,352	0,346	0,334
100	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338	-	-	-	-	-	-
150	0,367	0,360	0,354	0,348	0,337	-	-	-	-	-	-
300	0,365	0,359	0,353	0,346	0,335	-	-	-	-	-	-
>300	0,364	0,357	0,351	0,345	0,333	-	-	-	-	-	-

n = Número de salidas

$\beta=1,75$ . Blasius, Cruciani-Margaritora

$\beta=1,786$ . Scimeni

$\beta=1,80$ . Iso, Veronese-Daite

$\beta=1,85$ . Hazen-Williams

$\beta=1,90$ . Scobey

$\beta=2,00$ . Manning, Darcy-Weisbach

En la práctica se toma los siguientes valores de  $\beta$  :

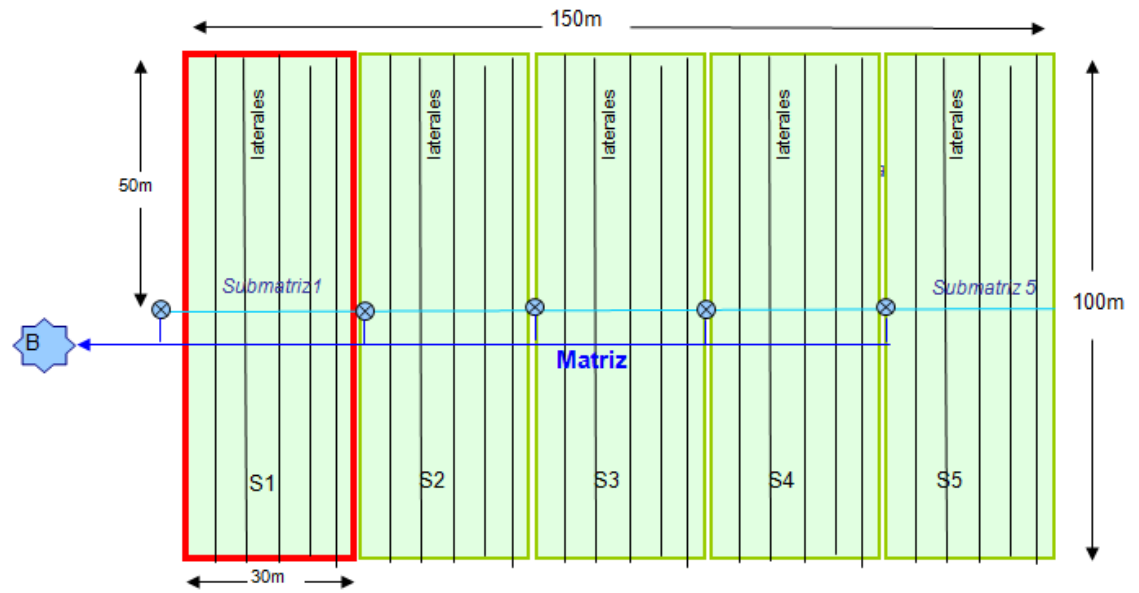
$\beta=1,75$  para tuberías de PE

$\beta=1,80$  para tubería de PVC

$\beta=1,85-1,90$  para tubería de aluminio

Teniendo claro las fórmulas a utilizar, surge la siguiente interrogante. ¿Cómo está constituido el sistema de riego y cuál es el esquema a calcular? Para aclarar esto se define el siguiente esquema, donde se ve claramente que el sector a intervenir se ha dividido en secciones y en cada una de ellas, el sistema de riego cuenta con laterales donde se encuentran los goteros. Estos laterales son alimentados por submatrices las cuales a su vez son alimentadas por una matriz.

**Imagen 3-8 Esquema de distribución del sistema de riego**



**Fuente: Confección propia.**

### 3.5.2.1 Pérdidas Singulares

Son las producidas por el roce de la geometría de las piezas por donde circula el agua.

La ecuación depende de tres factores, el caudal, diámetro interior del fitting y una constante que es particular para cada elemento, como se muestra en la siguiente tabla.

Las pérdidas singulares totales del sistema es la suma de todas las pérdidas singulares que se encuentran en la línea de la tubería, por ejemplo codos, válvula, Tee, etc.

$$\text{Pérdidas\_Singulares} = \sum \frac{K}{2g} \left( \frac{4Q}{\pi * D^2} \right)^2$$

K: Constante del accesorio.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s.

g: Gravedad 9,81m/s<sup>2</sup>.

D: Diámetro interior del fitting.

**Tabla 3-6 Constante K**

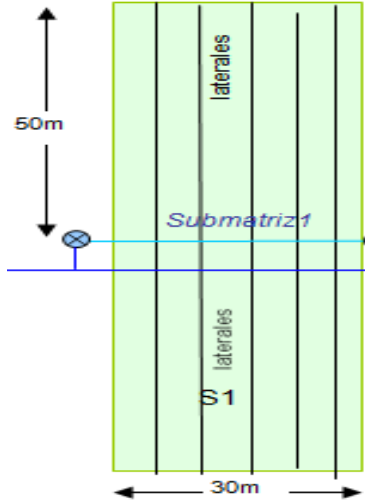
Fittings	K	Fittings	K
Codo 90°	0.90	V. Comp. ¾ cerrada	24.00
Tee sin reducción	0.60	V. Comp. ½ cerrada	5.60
Codo 45°	0.42	V. Comp. ¼ cerrada	1.15
Tee con reducción ½	0.90	V. Comp. abierta	0.19
Codo 90° suave	0.75	V. Retención	2.50
Tee bifurcación	1.80	Ensanches d / D = ¼	0.92
Curva 90°	0.60	d / D = ½	0.56
Válvula Pie	2.50	d / D = ¾	0.19
Curva 180°	2.20	V. Globo abierta	10.00
Codo cuadrado	1.80	Tubo con borde	0.83
Contracciones d / D = ¼	0.42	V. Angulo abierta	5.00
d / D = ½	0.32	Entradas	0.50
d / D = ¾	0.19		

Fuente: V.L. Streeter, E.B. Wylie, K.W. Bedford; Mecánica de Fluidos, Novena Edición 2003.

### 3.5.3 Cálculo de Laterales

Para el cálculo de los laterales, se considera que la matriz de la que éstos se desprenden pasa por la parte central del sector, por lo que, la longitud de cada lateral equivaldrá a 50 metros.

Imagen 3-9 Esquema sector tipo.



Fuente: Confección propia.

Con esta consideración, los datos necesarios para realizar los cálculos pertinentes se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3-7 Datos para cálculo de lateral

Sectores	5	Sectores
Separación x gotero	0,3	M
separación de hilera	1,1	M
Ancho sector	30	M
Lateral	50	M
Cantidad de goteros x Lateral	166,7	Goteros
Cantidad de goteros x lateral Ajustado	167	Goteros
Marco de Plantación 110X30CM	0,33	m2

#### Cálculos

$$\text{Marco\_Plantación} = \text{distancia hileras} * \text{distancia plantas} = 1,1\text{m} * 0,3\text{m} = 0,33\text{m}^2$$

$$Q_{\text{lateral}} = \text{cantidad\_goteros} * Q_{\text{goteros}} = 167 * 2 = 334\text{lp/h} = 0,0001\text{m}^3/\text{s}$$

$H_{Final}$  último gotero = 10m.c.a

$\phi$  lateral =  $\phi_{exterior} - \text{espesor} = 16 - 2,6 = 13,4\text{mm} = 0,0134\text{m}$

Longitud Lateral = 50m

Pendiente terreno =  $\Delta z = 0,5\text{m}$

Coef\_Christiansen (F) = 0,359 ...dato tabla 3 – 5 (se consideran 167 salidas)

Constante\_Tubo PVC (C) = 150 ...dato tabla 3 – 4

Reemplazando los valores en la fórmula de Hazen-Williams, se obtiene:

$$hf = \frac{10,667}{D^{4,871}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad L = \frac{10,667}{0,0134^{4,871}} \left( \frac{0,0001}{150} \right)^{1,852} 50 = 2,2\text{m}$$

Para encontrar las pérdidas ocasionadas por las salidas múltiples, utilizando el coeficiente de Christiansen, tenemos:

$$H_{salidas\_múltiples} = \text{coef\_Christiansen} * hf = 0,359 * 2,2\text{m} = 0,79\text{m}$$

Para determinar la altura al inicio del tramo, debemos considerar:

- Pérdidas Distribuidas (hf)=2,2 mca
- Pérdidas por salidas múltiples= 0,79 mca
- Pendiente del terreno=0,5 m
- H salida de último gotero=10 mca

Con los cálculos anteriores, podemos determinar H al inicio del lateral.

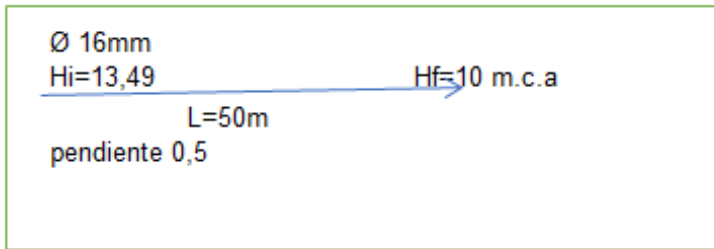
entonces,

$$H_{inicio\ lateral} = hf + H_{salidas\ multiples} + \Delta z + H_{salida\ último\ gotero}$$

$$H_{inicio\ lateral} = 2,2\text{mca} + 0,79\text{mca} + 0,5\text{m} + 10\text{mca}$$

$$H_{inicio\ lateral} = 13,49\text{ mca}$$

**Imagen 3-10 Esquema de cálculo de lateral**



**Fuente:** Confección propia.

### 3.5.4 Cálculo de Submatrices

Para el cálculo de las submatrices, se considera la cantidad de hileras por sector y para el cálculo del caudal que circulará por dicho sector, se considerará el total de goteros por hilera (dado que se considera que la submatriz pasa por el centro del sector, para calcular el caudal por *lateral* se consideró solo la mitad de la longitud del sector, por lo que, 1 hilera está compuesta por dos laterales).

**Tabla 3-8 Datos para cálculo de submatriz**

<u>Datos de Submatriz</u>		
Cantidad de Laterales por sector.	27,3	
Cantidad de Laterales por sector Ajustado.	27,0	unidades
Longitud Submatriz.	30	m
Coefficiente de Rugosidad (k).	0.009	

$$Q_{\text{submatriz}} = \text{cantidad\_laterales} * \text{Número\_lados\_sector} * Q_{\text{lateral}}$$

$$Q_{\text{submatriz}} = 27 \left[ \frac{\text{laterales}}{\text{sector}} \right] * 2 * 334 \left[ \frac{1}{h * \text{lateral}} \right] = 18036 \left[ \frac{1}{h * \text{lateral}} \right] = 0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{lateral}}$$

$$H_{\text{Inicio lateral}} = 13,49 \text{ mca}$$

$$\varphi_{\text{submatriz}} = \varphi_{\text{exterior}} - \text{espesor} = 59,20\text{mm} = 0,0592\text{m} \quad \dots \text{PVC63mm}$$

$$\text{Pendiente\_Terreno } \Delta z = -0,6\text{m}$$

Coef\_Christiansen (F) = 0,376 ... por tabla 3-5 (27 salidas)

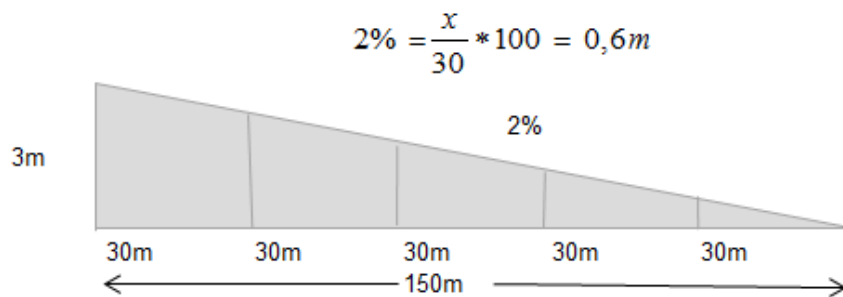
$$hf = \frac{10,667}{D^{4,871}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} * L = \frac{10,667}{0,0592^{4,871}} \left( \frac{0,005}{150} \right)^{1,852} * 30 = 1,6 \text{ mca}$$

$$H_{\text{salidas multiples}} = hf * F = 1,6 \text{ mca} * 0,376 = 0,6 \text{ mca}$$

La constante K para calcular las pérdidas singulares está tabulada en la tabla 3-6, y corresponde a la suma de dos factores. K=0,9 para tee con reducción y 0,75 para codo 90 suave. Con lo anterior, la constante K a utilizar tendrá un valor de K=1,65

$$\text{Pérdidas Singulares} = h_s = \sum \frac{K}{2g} \left( \frac{4Q}{\pi * D^2} \right)^2 = \frac{1,65}{2 * 9,8} \left( \frac{4 * 0,005}{3,14 * 0,0592^2} \right)^2 = 0,28 \text{ mca}$$

**Imagen 3-11 Pendiente de Terreno**



Entonces, para determinar la altura al inicio de la submatriz, debemos considerar:

- Pérdidas Distribuidas (hf)=1,6 mca.
- Pérdidas por salidas multiples= 0,6 mca.
- Pendiente del terreno=(-0,6) m (la bomba se ubicará en el sector más alto del terreno).
- H inicio lateral=13,49 mca.
- Pérdidas singulares tramo(hs)=0,28 mca.

Con los calculos anteriores, podemos determinar H al inicio de la Sub matriz.

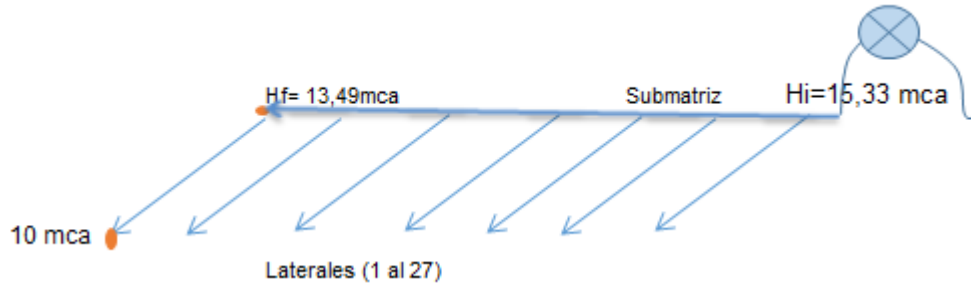
entonces,

$$H_{\text{inicio submatriz}} = hf + H_{\text{salidas multiples}} + \Delta z + H_{\text{inicio lateral}} + h_s$$

$$H_{\text{inicio lateral}} = 1,6mca + 0,6mca + (-0,6)m + 13,49mca + 0,28mca$$

$$H_{inicio\_lateral} = 15,33 \text{ mca}$$

**Imagen 3-12 Esquema de Cálculo de Submatriz.**



### 3.5.5 Cálculo de Matriz.

Para el cálculo de la matriz general del sistema, se considera que si bien por este tramo debe circular el total del caudal necesario para abastecer la demanda de agua para regadío, este no lo hará en forma simultánea, ya que el riego se considera por sectores en serie, de forma que bajo ningún caso, se regará más de un sector a la vez.

**Tabla 3-9: Datos de Matriz**

Longitud de Matriz	120	M
Q diseño total	18036	Lph
Q diseño total	0,0050	m <sup>3</sup> /seg

$$Q_{Matriz} = 18036 \text{ lph} = 0,0050 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$H_{Inicio \text{ Submatriz}} = 15,33 \quad \dots (H_{Final \text{ Matriz}})$$

$$\phi_{\text{submatriz}} = \phi_{\text{exterior}} - \text{espesor} = 71,4 \text{ mm} = 0,0714 \text{ m} \quad \dots \text{PVC } 75\text{mm}$$

$$\text{Pendiente\_Terreno } \Delta z = -2,4\text{m} \quad (\text{ver imagen 3-12})$$

$$\text{Coef\_Chistiansen (F)} = 1 \quad \dots \text{ por tabla 3-5 (1 salida)}$$

$$h_f = \frac{10,667}{D^{4,871}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} * L = \frac{10,667}{0,0714^{4,871}} \left( \frac{0,005}{150} \right)^{1,852} * 120 = 2,5 \text{ mca}$$

$$\text{Pérdidas Singulares} = \sum \frac{K}{2g} \left( \frac{4Q}{\pi * D^2} \right)^2 = \frac{2}{2 * 9,8} \left( \frac{4 * 0,005}{3,14 * 0,0714^2} \right)^2 = 0,160 \text{ mca} \quad \dots \text{válvula}$$

Entonces, para determinar la altura al inicio de la Matriz, debemos considerar:

- Pérdidas Distribuidas (hf)=2,5 mca.
- Pérdidas por salidas multiples=( no aplica ya que solo se entrega a una submatriz a la vez).
- Pendiente del terreno=(-2,4) m.
- H inicio submatriz=15,33 mca.
- Perdidas singulares tramo(hs)=0,160mca.

Entonces,

$$H_{\text{inicio matriz}} = h_f + H_{\text{salidas\_multiples}} + \Delta z + H_{\text{inicio submatriz}} + h_s$$

$$H_{\text{inicio matriz}} = 2,5 \text{ mca} + 0 + (-2,4) \text{ m} + 15,33 \text{ mca} + 0,16 \text{ mca}$$

$$H_{\text{inicio matriz}} = 15,59 \text{ mca}$$

**Imagen 3-13 Esquema de Cálculo de Matriz.**



### 3.5.6 Cálculo de Bomba.

Antes de buscar en el mercado una bomba acorde a las necesidades del proyecto, es necesario calcular el requerimiento total, por lo que se debe considerar las pérdidas producto de la succión y la descarga y de los equipos asociados a la bomba y definir algunos parámetros como diámetros de succión, descarga, distancia napa-descarga y márgenes de seguridad por descenso del nivel freático.

Parámetros:

Diametro succión PVC160mm C6 = 153,6mm = 0,1536m

Diametro descarga PVC75mm C4 = 71,4mm = 0,0714m

Caudal de Diseño =  $0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Coefficiente Rugosidad codo (k) = 0,9

Coefficiente Rugosidad reducción (k) = 0,19

Distancia entre bomba matriz 75 = 6,0m

Pérdidas filtro malla = 3m

$H_{\text{succión}} = 10,0\text{m}$  (altura espejo de agua + resguardo ante años secos)

$H_{\text{inicio\_matriz}} = 15,39\text{m}$

Pérdidas asociadas succión – descarga(hf) = 0,242m

Pérdidas asociadas succión – descarga(hs) = 0,418m

Con la información anterior, es posible calcular el requerimiento real de la bomba, el cual

quedara determinado a partir de la siguiente sumatoria:

$$H_{\text{bomba}} = H_{\text{inicio matriz}} + H_{\text{filtro malla}} + H_{\text{espejo agua}} + hf_{\text{succión-descarga}} + hs_{\text{succión-descarga}}$$

Dado los requerimientos de la bomba (caudal y H) no hay actualmente en el mercado, bombas centrifugas que posean estas características, por lo que se deberá optar por una bomba sumergible.

Al optar por una bomba sumergible, los requerimientos y perdidas asociadas a este tipo de bombas, sufren una variación con respecto a la ecuación anterior, ya que, al encontrarse bajo el nivel de la napa, no se tiene pérdidas por succión (en estricto no hay succión) y la impulsión se considera solo desde el espejo de agua hasta el punto de entrada a la matriz principal.

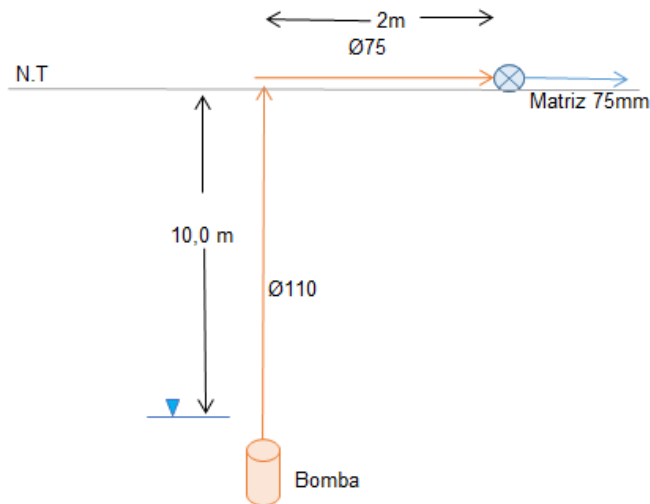
De esta forma, la ecuación que nos indica el requerimiento de altura para la bomba será:

$$H_{\text{bomba}} = H_{\text{inicio matriz}} + H_{\text{espejo agua}}$$

$$H_{\text{bomba}} = 15,39\text{m} + 10\text{m}$$

$$H_{\text{bomba}} = 25,39\text{m}$$

**Imagen 3-14: Esquema de Cálculo de Bomba (considerado en año muy seco)**



Fuente: Confección propia.

### 3.5.7 Bomba a Instalar

Ahora que se ha establecido el requerimiento se puede ver en el mercado la bomba solar que cumpla con el requerimiento calculado.

En el mercado existen una gran variedad de firmas que fabrican bombas adecuadas para el sistema calculado y de las cuales poseen motor de corriente continua lo que permite una conexión directa con los paneles solares. Se elige usar equipo de bombeo de la firma Lorentz debido a su confiabilidad y relación precio calidad. Estas bombas son de procedencia alemana, las cuales son especialmente creadas para aplicaciones rurales. Lorentz también provee de paneles solares que se venden en conjunto a la unidad de bombeo a un precio menor que el precio de mercado, lo que hace más atractiva la compra de un paquete.

La bomba Lorentz considerada para el predio es la serie PS4000 C-SJ17-4-D que consiste en un sistema de bombeo alimentado con energía solar. La bomba pertenece a la serie que

puede elevar agua hasta una altura 45m y puede bombear a 25m<sup>3</sup>/h, tiene una instalación simple y no requiere de mantenimiento. Posee una alta confiabilidad y esperanza de vida. Algunas características de la bomba PS4000 C-SJ17-4 (Controller PS4000, Motor ECDRIVE 1200-C, Bomba PE C-S-J17-4-D) se mencionan a continuación:

### **3.5.8 Ventajas**

1. Larga vida útil y antecedentes de funcionamiento acreditados.
2. Diseñadas para el uso en condiciones remotas y adversas.
3. Diseño modular inteligente que posibilita un mantenimiento y una reparación sencilla y económica.
4. Motores llenos de agua para evitar la contaminación por aceite.
5. Instalación sencilla y rápida.
6. Rentabilidad de inversión muy elevada en comparación con el bombeo alimentado por gasolina, reduciendo los costos de producción y la huella de carbono.
7. Amplia gama de bombas para adaptarse a cualquier aplicación y optimizar la eficiencia.

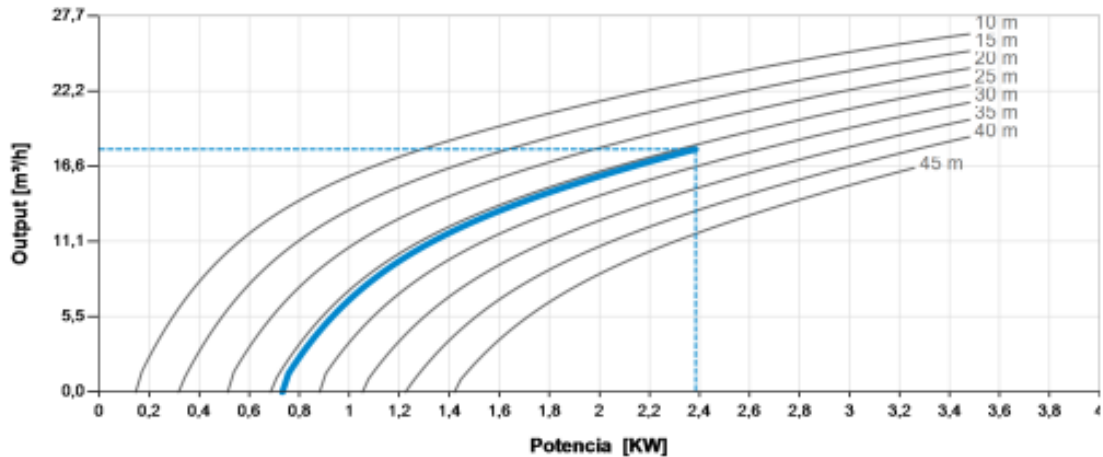
### **3.5.9 Características**

1. Diseñadas en Alemania.
2. Construidas íntegramente con materiales de alta calidad resistentes a la corrosión.
3. Componentes de acero inoxidable colado.
4. Conexión solar directa con opción de conexión CA.
5. Tecnología MPPT (maximum powerpoint Tracking) para maximizar el uso de energía procedente de módulos FV.
6. Motores sin escobillas ECDRIVE CC diseñados para funcionamiento solar con una eficiencia superior a 90%.
7. Control de entrada para la protección de funcionamiento en seco.
8. Válvula de retorno.

Gráfico 3-4: Curva de la bomba para el proyecto

Proyecto de bombeo solar

**Característica del sistema**



		Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
<b>Generador PV</b>	Temperatura de celda	[°C]	46	25
	Pérdida de temperatura	[%]	9,2	-
	Pérdida por suciedad	[%]	5,0	-
	Pmax	[Wp]	2.760	4.000
	Vmp	[V]	220	242
	Imp	[A]	13	17
	Voc	[V]	273	300
	Isc	[A]	14	18
	Pout	[W]	2.470	-
	Vout	[V]	239	-
Iout	[A]	11	-	
<b>Cable motor</b>	Pérdida de potencia	[%]	1,5	2,5
	Potencia motor	[W]	733	2.385
<b>Sistemas de bombeo</b>	Voltaje motor	[V EC]	146	205
	Corriente motor	[A]	5,0	12
	Revoluciones motor	[rpm]	2.075	2.785
	Flujo	[m³/h]	0	18
	Eficiencia	[%]	0	52
				18
				58

\*STC: Condiciones estándares de prueba: 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C

Fuente: [www.Lorentz.de](http://www.Lorentz.de) (específico para el proyecto)

**3.5.10 Diseño de Paneles Solares por Medio de Tabla.**

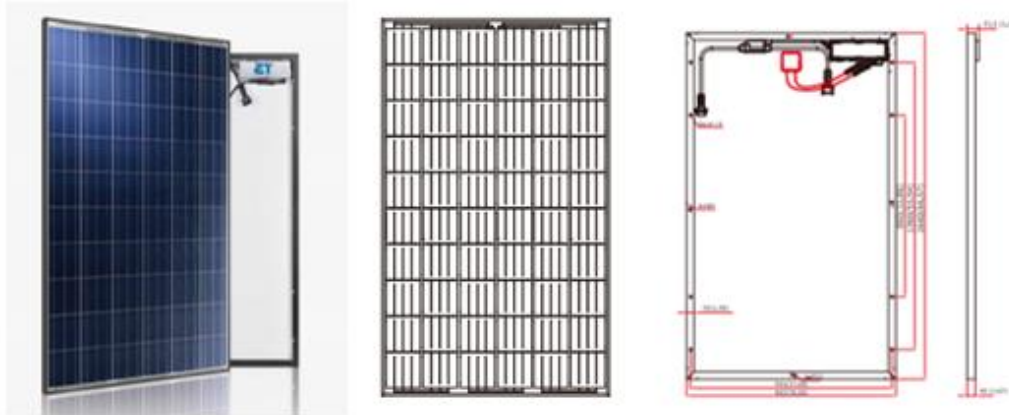
El proyecto requiere una demanda de agua 18 m³/h por sector, es decir la demanda de agua total es de 90 m³/día, por lo que el área total de los paneles debe entregar energía suficiente

para la demanda solicitada. Como los paneles existentes han llegado solo hasta una eficiencia en laboratorio de 44,7%, debemos considerar un área de exposición mayor para el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta que los paneles comercializados aún no alcanzan esa eficiencia.

Para este proyecto en específico, por tabla se necesitan 2400 (2385) Wp. Cada panel solar modelo AC WHT Poly 250W BLK aporta 223W, por lo que se necesitarían 10,8≈11 paneles para cumplir con el requerimiento de la bomba, considerando su instalación con un ángulo de 38° pero, para asegurar el funcionamiento del sistema, se deben tomar otros resguardos adicionales.

Entre las variables, se considera 5% de pérdida por concepto de suciedad de los paneles (estos están expuestos a la intemperie y acumularán sedimentos). También se considera que solo 75% de la potencia instalada va hacia el sistema como resguardo ante días nublados. Con lo anterior, la potencia nominal a instalar será de 4.000Wp, lo que equivale a 16 paneles.

**Imagen 3-15: Panel Solar Proyecto.**

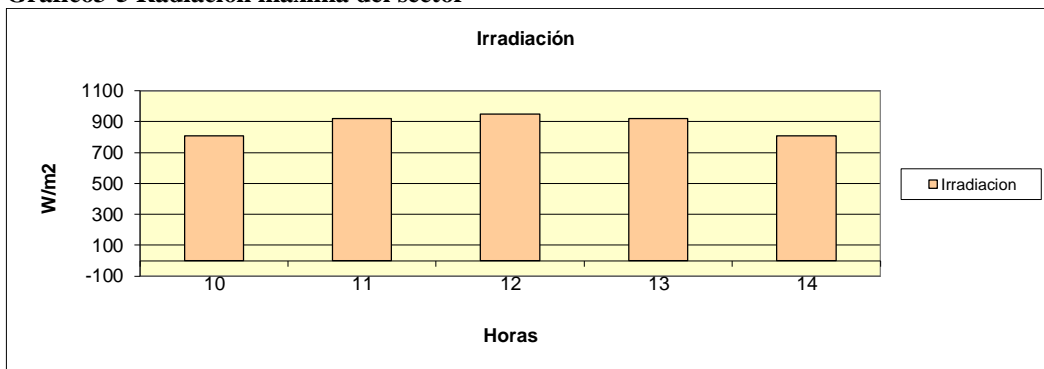


**Fuente:** <http://www.civicsolar.com>

### 3.5.11 Diseño de Paneles por Medio de Fórmula.

Se considera en el cálculo una duración del bombeo de 4,4 horas diarias. La radiación solar que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada, se conoce como Irradiancia y esta se mide en unidades de  $W/m^2$ . Dado que la distancia tierra-sol es relativamente fija, el valor de la irradiancia fuera de la atmósfera terrestre, llamada la constante solar es de  $1.353 W/m^2$ . Debido a que la atmósfera terrestre está constituida por gases, vapor de agua, nubes, partículas contaminantes etc, el valor de este parámetro varia. Estos factores se conocen como masa de aire. Bajo condiciones de atmósfera del sector en estudio, la irradiación máxima promedio que un captador recibirá, será de  $882 W/m^2$ , como se muestra en gráfico.

Gráfico3-5 Radiación máxima del sector



Fuente: Elaboración Propia

La eficiencia de los paneles es de 15,2% y la eficiencia de la bomba solar es del 90%. La siguiente tabla resume los parámetros principales y el cálculo del área necesaria para alimentar a la bomba.

Datos:

$$\text{Densidad agua } (\rho) = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Aceleración gravedad } (g) = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Duración bombeo solar } (t) = 4,7 \text{ horas} = 16920 \text{ s}$$

$$\text{Eficiencia Bomba} = 0,52$$

$$\text{Caudal } (Q) = 18,18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$f = 0,2 \text{ (factor de pérdida)}$$

$$\text{Altura } (h) = 26 \text{ m}$$

$$H = h(1 + f)$$

$$\text{Potencia Hidráulica} = \frac{\rho * g * H * Q}{\text{Eficiencia Bomba}}$$

$$\text{Potencia Hidráulica} = \frac{1000 * 9,8 * (25,39(1 + 0,2)) * 0,005}{0,52} = 2.871,023 \text{ W}$$

$$\text{Eficiencia paneles} = 0,152$$

$$\text{Radiación Promedio} = 882 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Area Panel} = \frac{\text{Potencia Hidraulica}}{\text{Radiacion promedio} * \text{Eficiencia panel}}$$

$$\text{Área Panel} = \frac{2.871,023}{882 * 0,152} = 21,4153 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el área de paneles que se necesitaría para este sistema, calculado por medio de fórmula, es de 21,42 m<sup>2</sup>.

Si consideramos que al área de cada panel es 1,62m<sup>2</sup>, se necesitarán 13,22≈14 paneles para alimentar el sistema (sin considerar todos los resguardos adicionales considerados por tabla).

Si hacemos la comparación entre ambos métodos para determinar la cantidad de paneles, nos da una diferencia de 2 paneles entre métodos. Cabe aclarar que, el factor de corrección utilizado en este método, no cubre factores como suciedad, días nublados ni otros (si por estos factores se considera 5% adicional, el área requerida es de 22,49m<sup>2</sup> lo que es equivalente a 13,8≈14paneles)

## 4 Capítulo IV

### 4.1 Estructura del Proyecto

Al invertir en un proyecto se espera recuperar lo invertido y obtener cierta ganancia. Para conocer estas interrogantes es que se evalúan económicamente los proyectos. De dicha evaluación se puede decidir si es viable invertir en el proyecto. Una de las formas de evaluar es a través del Flujo de Caja.

El Flujo de Caja es un informe financiero que presenta un detalle de los flujos de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado.

La diferencia entre los ingresos y los egresos se conoce como saldo o flujo neto, por lo tanto constituye un importante indicador de la liquidez de la empresa. Si el saldo es positivo significa que los ingresos del período fueron mayores a los egresos (o gastos); si es negativo significa que los egresos fueron mayores a los ingresos. En el Flujo de Caja no se utilizan términos como “ganancias” o “pérdidas”, dado que no se relaciona con el Estado de Resultados. Sin embargo, la importancia del Flujo de Caja es que nos permite conocer en forma rápida la liquidez de la empresa, entregándonos una información clave que nos ayuda a tomar decisiones.

Una estructura típica para definir el flujo neto de caja del proyecto, en cuanto a un ordenamiento de ingresos y costos es la siguiente:

- (+) Ingresos Netos
- (-) Costos operacionales: Costos fijos y variables
- (-) Costos No operacionales: gastos financieros
- = Utilidad antes de impuesto
- (-) Impuesto a la Renta
- = Utilidades después de impuestos
- (-) Amortización de préstamo
- (-) Inversiones en Activos fijos y capital de trabajo
- (+) Valores residuales de inversión, Depreciación y préstamos
- = Flujo Neto

### **4.1.1 Viabilidad Económica**

La cantidad de variables que se deben manejar para realizar la evaluación económica de un proyecto, es relativamente alta. A continuación se realizará una breve descripción de los conceptos involucrados en la formulación del proyecto, los que serán posteriormente evaluados.

#### **4.1.1.1 Inversión Inicial**

Es la cantidad de dinero que se desembolsa para la adquisición de equipamiento, vehículos, mobiliario, construcciones físicas etc. Esta inversión debe ser al inicio del proyecto, el cual se llama tiempo cero. Para nuestro proyecto se refiere al pack de bomba que incluye el controlador, los paneles, cañerías, fittings, filtros, emisores, etc.

#### **4.1.1.2 Tiempo de Evaluación del Proyecto**

Corresponde a los años de análisis en la formulación del proyecto. Puede ser el tiempo de duración de la inversión. Para un proyecto agronómico se considera entre 5 a 10 años. En casos extremos por ejemplo obtención de corcho a partir del alcornoque debería evaluarse a 80 años, pero no es el caso a evaluar.

#### **4.1.1.3 Costos Fijos**

Es el dinero que se desembolsa en periodos fijos de tiempo, como mano de obra directa, la cual incluye remuneraciones, previsión social, servicios básicos y mantenimiento de equipos.

#### **4.1.1.4 Costo Variable**

Es el dinero que se desembolsa por unidad de producto producida, es decir en esta evaluación sería las cajas de embalaje, la mano de obra que se utiliza en la cosecha y embalaje.

#### 4.1.1.5 Valor de Desecho

Es el valor de mercado que tendría la totalidad de las inversiones al término del proyecto.

#### 4.1.1.6 Ingresos de la Operación

Son todos los valores obtenidos mediante la comercialización de los productos, en este caso de los tomates.

#### 4.1.1.7 Criterios de Evaluación

Los criterios más usados en la evaluación de proyecto son el valor anual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación del capital (PRI).

##### 4.1.1.7.1 Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FCN_t}{(1+i)^t} - I$$

Donde:

VAN: Valor Actual Neto.

FCN: Flujo de caja evaluado por cada año.

I: Ingreso inicial.

$i$ : Tasa de Interés.

N: Tiempo de duración del proyecto.

Caso	Renta	Explicación
$VAN < 0$	Renta negativa	Los ingresos no recuperan los costos. Los ingresos recuperan los costos, pero son menores a los que se recibirían si los fondos se colocarían a la tasa $i$ .
$VAN = 0$	Renta cero	Los ingresos recuperan los costos pero, son iguales a los que se recibirían si los fondos se colocaran a la tasa $i$ .
$VAN > 0$	Renta positiva	Se recuperan los costos y los ingresos netos son mayores que los que se recibirían a la tasa $i$ .

#### **4.1.1.7.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno es aquella tasa que iguala los flujos de ingresos y egresos futuros de una inversión, correspondiendo a la rentabilidad que obtendría un inversionista de mantener el instrumento financiero hasta su extinción, bajo el supuesto que reinvierte los flujos de ingresos a la misma tasa.

También se puede definir como la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero, y se obtiene resolviendo la siguiente ecuación en  $i$  :

$$0 = -I + \frac{FCN_1}{(1+i)} + \dots + \frac{FCN_t}{(1+i)^n}$$

Lo anterior significa que la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual.

#### **4.1.1.7.3 Período de Recuperación del Capital (PRI)**

El período de recuperación de capital de un proyecto se define como el número de períodos o años requeridos que hacen falta para que la empresa recupere su inversión inicial mediante la ejecución del proyecto, o como el número de períodos requeridos para que la suma acumulada de los ingresos netos no actualizados sea igual a cero.

El criterio de decisión toma en este caso la forma de un número máximo de años o período de corte, por encima del cual las propuestas deberían ser rechazadas. Cuanto más corto sea el período de recuperación, mejor es el proyecto.

El PRI no considera la inversión en capital de trabajo ya que supone que éste puede ser recuperado en cualquier periodo.

Si los flujos anuales fuesen todos iguales, entonces el PRI se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$PRI = \frac{I_o}{FCN}$$

## 4.2 Evaluación Económica de Producción de Tomates

Primeramente se evaluará la situación actual del predio, donde se analiza un flujo de caja inicial. Después se realiza la evaluación económica del proyecto de independencia energética con dos casos, uno optimista y otro pesimista, con los cuales se podrá tener una visión más objetiva del proyecto.

Se estructurará y valorizará los ingresos y costos del proyecto. Hay que aclarar que los costos fijos son iguales, tanto para la situación actual como las proyectadas.

### 4.2.1 Ingresos Anuales

Este ítem es trascendental para la buena formulación y evaluación de un proyecto.

Los ingresos del proyecto son en función del precio de mercado esperado por la cantidad vendida del producto del proyecto. Para tener un parámetro de la variación del precio de la caja de tomates al aire libre, se consideró el precio promedio entre los años 2006 y 2015, considerando para la media solo los meses comprendidos entre diciembre y abril, lo que corresponde a una temporada, como se muestra a continuación en el gráfico.

Gráfico 4-1 Precios Agropecuarios Observados



Fuente: Odepa.

El promedio de venta para mayorista es de \$4.836 por cajón de tomates de primera selección y de \$3.743 la caja de tomates de segunda selección, lo cual coincide con los valores que se manejan en el predio.

En la actualidad, la producción de tomates del predio es bajísima, debido a los problemas serios de riego que posee. Esto lleva a tener una producción de 24,5 Ton por hectárea. Es decir, 1441 caja de tomates, las cuales se dividen en 576 cajas de primera selección y 865 cajas de segunda selección.

Tabla 4-1: Volumen actual de tomates en predio

Kilos en una caja de tomate	17	Kg
Cantidad de tomates 1ha	24.5	Ton
Peso de cada tomate	0.2	Kg
Cantidad de tomates 1ha proyectado	24,500	Kg

Tabla 4-2: Valor de ventas actuales

<b>Cantidad de Cajas de tomates</b>	<b>1,441</b>
Valor por caja de tomate de 1era	\$ 4,836
Valor por caja de tomate de 2da	\$ 3,743

Tabla 4-3: Ingresos por venta actuales

<b>Total de Cajas</b>	<b>Valor por cantidad de cajas</b>
1era Selección: 576	\$ 2.787.812
2da Selección: 865	\$ 3.236.594
<b>Total 1441</b>	<b>\$ 6.024.406</b>

Luego de tener claro la situación actual del predio, se analizan tres escenarios: optimista, real y pesimista.

#### 4.2.1.1.1 Proyección Optimista

Se considera que la producción de tomates será de 105 Ton (70 ton/héc), debido a que posee un sistema de riego por goteo, se amplía la superficie plantada y la independencia energética de la bomba que suministra un riego estable al predio. Se aclara que para la situación actual, la optimista y pesimista se considera el mismo valor por caja de tomates, dejando como variable solamente la producción por hectárea.

Tabla 4-4: Ingresos por año escenario optimista

Valor por caja de tomate de 1era	\$ 4.836	3706	\$ 17.921.647
Valor por caja de tomate de 2da	\$ 3.743	2471	\$ 9.247.412
			<b>\$ 27.169.059</b>

#### 4.2.1.1.2 Proyección Realista

Se considera una producción más real en el tiempo, ya que se considera una producción variable durante los dos primeros años de 80 y 96 Ton, estabilizándose en el tercer año con 105 Ton. A partir de ese punto se considera una producción estable de 105 Ton.

Tabla 4-5: Ingresos escenario Realista.

INGRESO DE LA OPERACIÓN		(90ton)	(98ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)
Item	Desglose	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Producción caja tomates de 1era	3176	3459	3706	3706	3706	3706	3706	3706	3706	3706
1	Selección										
	Producción caja tomates de 2da	2118	2306	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470
	Selección										
	Valor por Caja de 1era selección	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836	\$ 4.836
	Valor por Caja de 2da selección	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743	\$ 3.743
	Ingresos por por 1era	\$ 15.359.136	\$ 16.727.724	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216	\$ 17.922.216
	Ingresos por 2da	\$ 7.927.674	\$ 8.631.358	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210	\$ 9.245.210
	<b>TOTAL DE INGRESO</b>	<b>\$ 23.286.810</b>	<b>\$ 25.359.082</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>	<b>\$ 27.167.426</b>

#### 4.2.1.1.3 Proyección Pesimista

Se considera que la producción es menor, solo 60 Ton por hectárea, debido a que la cosecha es menor por diferentes causas, por ejemplo algún tipo de plaga, mal manejo de plantación, etc.

Tabla 4-6: Ingresos escenario pesimista

INGRESO DE LA OPERACION					
Item	Desglose	cantidad	unidad	Valor	Sub total
<b>1</b>	<b>venta</b>				
	Tomate de 1era Selección	3176	caja	\$ 4.836	\$ 15.359.136
	Tomate de 2d	2118	caja	\$ 3.743	\$ 7.927.674
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 23.286.810</b>

Este es un ítem importante. Debido que una postura optimista puede causar un riesgo adicional y graves desilusiones económicas. Por esta razón se analiza los dos escenarios, para poder ver los riesgos inherentes del proyecto.

#### 4.2.2 Costos Anuales

##### 4.2.2.1.1 Costos Fijos

Son independientes de la producción. Lo que implica que tanto en el caso actual, como en las proyecciones existe el mismo costo fijo en el predio. Por lo que los gastos anuales serían: las semillas, almácigos, riego, la limpieza del predio, los costos administrativos, insumos básicos y el arriendo del predio. Este último punto se considera un arriendo ya que el dueño del predio podría arrendar la tierra en vez de cultivar. Por lo que costo fijo anual total es de \$6.274.500.

**Tabla 4-7: Costos operativos fijos**

COSTO DE OPERATIVOS FIJOS					
Item	Desglose	cantidad	unidad	Valor	Sub total
1					
	Semillas	1,5	ha	\$ 170.000	\$ 255.000
	Almacigos	45450	plantas	\$ 70	\$ 3.181.500
	Riego	18	JH	\$ 16.000	\$ 288.000
	Limpieza	1,5	ha	\$ 120.000	\$ 180.000
	Re limpieza	1,5	ha	\$ 60.000	\$ 90.000
2	Costo administración	6	meses	\$ 45.000	\$ 270.000
	Insumos Básicos	6	meses	\$ 35.000	\$ 210.000
	Arriendo del predio	1	predio	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
				<b>TOTAL</b>	\$ 6.274.500

#### 4.2.2.1.2 Costos Variables

Están relacionados directamente con la producción, estos se subdividen en tres etapas:

**Plantación:** Donde se consideran los gastos anuales de insumos químicos (fertilizantes, fungicidas, insecticida) y la limpieza que involucra las hileras.

- Fertilizante: Es un tipo de sustancia o denominados nutrientes, en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener y/o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo.
- Herbicidas: Producto fitosanitario utilizado para eliminar plantas indeseadas. Algunos actúan interfiriendo con el crecimiento de las malas hierbas y se basan frecuentemente en las hormonas de las plantas.
- Fungicidas: Son sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o eliminar los hongos y mohos perjudiciales para las plantas, los animales o el hombre. Todo fungicida, por más eficaz que sea, si se utiliza en exceso puede causar daños fisiológicos a la planta.

#### Preparación del Suelo:

Algunos conceptos para aclarar son la aradura, que es la penetración y volteo completamente del suelo, en donde se mezclan las capas profundas con las superficiales.

El rastraje es la destrucción de terrones dejados por la práctica de aradura, el cual se logra con el rastreo.

### Cosecha

Se incluye la recolección, el acarreo y envasado en cajones, el flete, los cajones a ocupar, también se deja un ítem a otros, los que son un 5% de imprevistos.

Los costos variables de los cuatro escenarios se analizarán y mostrarán a continuación.

**Tabla 4-8: Costo Variable escenario actual.**

COSTO DE OPERATIVOS VARIABLES					
Item	Desglose	cantidad	unidad	Valor	Sub total
<b>1</b>	<b>Plantación</b>				
	Limpias (1)	91	hileras	\$ 1.500	\$ 136.500
	Limpias (2)	91	hileras	\$ 1.500	\$ 136.500
	Fertilizante	1	gl	\$ 321.435	\$ 321.435
	Fungicida	1	gl	\$ 124.780	\$ 124.780
	Herbicida	1	gl	\$ 72.000	\$ 72.000
	Insecticida	1	gl	\$ 225.390	\$ 225.390
<b>2</b>	<b>Preparación de suelo</b>				
	Aradura	1	Ha	\$ 90.000	\$ 90.000
	Rastraje	2	Ha	\$ 45.000	\$ 90.000
	Melgadura	1	Ha	\$ 20.000	\$ 20.000
	Acequiadura	1	hr	\$ 18.000	\$ 18.000
	Aplicación de fertilizante (	25	m3	\$ 10.500	\$ 262.500
	cultivadora	1	Ha	\$ 22.500	\$ 22.500
<b>3</b>	<b>Cosecha</b>				
	Recolección	24.500	kg	\$ 18	\$ 441.000
	Electricidad	5	meses	\$ 19.836	\$ 99.180
	Acarreo y envasado	1441	Caja	\$ 35	\$ 50.441
	Carga camion	1441	Caja	\$ 25	\$ 36.029
	Flete	1441	Caja	\$ 250	\$ 360.294
	Envase	1441	Caja	\$ 420	\$ 605.294
<b>4</b>	<b>Otros 5%</b>				\$ 155.469
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.267.312</b>

Se toman las siguientes consideraciones: los fertilizantes se dividen en uno natural y otro químico, el primero se considera que se ocupa el 100% ya que se utiliza al comienzo, en la preparación de la tierra. El fertilizante químico, se utiliza sólo un 50% ya que se ve la

tendencia a una baja producción por lo que no se justifica ocuparlo en el predio completo. Los fungicidas, herbicidas e insecticida se consideran solo el 50% debido al bajo rendimiento.

Los datos de preparación de suelo, son basados en ficha técnica de una de las consultoras más prestigiosas del área de la agronomía, “Consultora Allendes”. Este parámetro se considera igual para todos los costos variables (actual, optimista, real y pesimista). También se considera un 5%<sup>7</sup> en imprevistos en todos los escenarios que se plantean.

**Tabla 4-9: Costo Variable escenario optimista.**

<b>COSTO DE OPERATIVOS VARIABLES</b>					
<b>Item</b>	<b>Desglose</b>	<b>cantidad</b>	<b>unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Sub total</b>
<b>1</b>	<b><i>Plantación</i></b>				
	Limpias (1)	136	hileras	\$ 1.500	\$ 204.000
	Limpias (2)	136	hileras	\$ 1.500	\$ 204.000
	Fertilizante	1,5	gl	\$ 385.722	\$ 578.583
	Fungicida	1,5	gl	\$ 249.560	\$ 374.340
	Herbicida	1,5	gl	\$ 144.000	\$ 216.000
	Insecticida	1,5	gl	\$ 450.780	\$ 676.170
<b>2</b>	<b><i>Preparación de suelo</i></b>				
	Aradura	1,5	Ha	\$ 90.000	\$ 135.000
	Rastraje	3	Ha	\$ 45.000	\$ 135.000
	Melgadura	1,5	Ha	\$ 20.000	\$ 30.000
	Acequiadura	1,5	hr	\$ 18.000	\$ 27.000
	Aplicación de fertilizante (guano)	37,5	m3	\$ 10.500	\$ 393.750
	cultivadora	1,5	Ha	\$ 22.500	\$ 33.750
<b>3</b>	<b><i>Cosecha</i></b>				
	Recolección	105.000	kg	\$ 18	\$ 1.890.000
	Electricidad		meses	\$ 19.836	\$ -
	Acarreo y envasado	6176	Caja	\$ 25	\$ 154.412
	Carga camion	6176	Caja	\$ 15	\$ 92.647
	Flete	6176	Caja	\$ 250	\$ 1.544.118
	Envase	6176	Caja	\$ 420	\$ 2.594.118
<b>4</b>	<b>Otros 5%.</b>				\$ 330.684
				<b>TOTAL</b>	\$ 9.613.571

Se toman las siguientes consideraciones: los fertilizantes, fungicidas, herbicidas e insecticida se consideran ocupar en un 100%.

<sup>7</sup> Parámetro considerado en programa de capacitación consultores INDAP, 2009

**Tabla 4-10: Costo Variable escenario real.**

Costos Variables		(90ton)	(98ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)	(105ton)
Item	Desglose	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<b>Plantación</b>	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093	\$ 2.253.093
	<b>Preparación de suelo</b>	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500	\$ 754.500
	<b>Cosecha</b>										
	Cantidad de Recolección	90.000	98.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
	Valor por recolección	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18
	<b>Valor Total Recolección</b>	\$ 1.620.000	\$ 1.764.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000	\$ 1.890.000
	<b>Acarreo y envasado</b>	\$ 1.985.250	\$ 2.161.875	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000	\$ 2.316.000
	<b>Carga camion</b>	\$ 79.410	\$ 86.475	\$ 92.640	\$ 92.640	\$ 92.640	\$ 92.640	\$ 92.640	\$ 92.640	\$ 92.640	\$ 92.640
	Flete (cantidad de cajas)	5.294	5.765	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176
	Valor del flete por caja	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250	\$ 250
	<b>Valor total Flete</b>	\$ 1.323.500	\$ 1.441.250	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000	\$ 1.544.000
	Cantidad de envases	5.294	5.765	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176	6.176
	Valor por caja	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420	\$ 420
	<b>Valor total Envases</b>	\$ 2.223.480	\$ 2.421.300	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920	\$ 2.593.920
	<b>Otros 5% del total</b>	\$ 511.962	\$ 544.125	\$ 572.208	\$ 572.208	\$ 572.208	\$ 572.208	\$ 572.208	\$ 572.208	\$ 572.208	\$ 572.208
	<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	\$ 10.751.195	\$ 11.426.618	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361	\$ 12.016.361

Los costos de plantación y preparación del suelo se consideran iguales que el escenario optimista. Los ítems cosecha, recolección, flete y envase están directamente relacionados con la producción de tomates, por lo que está directamente relacionado con la tabla de ingresos del escenario real.

**Tabla 4-11: Costo Variable escenario pesimista**

COSTO DE OPERATIVOS VARIABLES PESIMISTA					
Item	Desglose	cantidad	unidad	Valor	Sub total
<b>1 Plantación</b>					
	Limpias (1)	136	hileras	\$ 1.500	\$ 204.000
	Limpias (2)	136	hileras	\$ 1.500	\$ 204.000
	Fertilizante	1,5	gl	\$ 385.722	\$ 578.583
	Fungicida	1,5	gl	\$ 249.560	\$ 374.340
	Herbicida	1,5	gl	\$ 144.000	\$ 216.000
	Insecticida	1,5	gl	\$ 450.000	\$ 675.000
<b>2 Preparación de</b>					
	Aradura	1,5	Ha	\$ 90.000	\$ 135.000
	Pastraje	3	Ha	\$ 45.000	\$ 135.000
	Melgadura	1,5	Ha	\$ 20.000	\$ 30.000
	Acequiadura	1,5	hr	\$ 18.000	\$ 27.000
	Aplicación de fertilizante (guano)	37,5	m3	\$ 10.500	\$ 393.750
	cultivadora	1,5	Ha	\$ 22.500	\$ 33.750
<b>3 Cosecha</b>					
	Recolección	90.000	kg	\$ 18	\$ 1.620.000
	Electricidad		meses	\$ 19.836	\$ -
	Acarreo y envasado	5294	Caja	\$ 25	\$ 132.353
	Carga camion	5294	Caja	\$ 15	\$ 79.412
	Flete	5294	Caja	\$ 250	\$ 1.323.529
	Envase	5294	Caja	\$ 420	\$ 2.223.529
<b>4 Otros 5%</b>					
					\$ 419.262
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8.804.509</b>

Se toman consideraciones similares a la del escenario actual, manteniendo las proporciones de producción. Los fertilizantes se dividen en uno natural y otro químico, el primero se

considera que se ocupa el 100% ya que se utiliza al comienzo, en la preparación de la tierra. El fertilizante químico, se utiliza sólo un 75% ya que se ve la tendencia a una baja producción por lo que no se justifica ocuparlo en el predio completo. Los fungicidas, herbicidas e insecticida se consideran sólo el 75% debido al bajo rendimiento, de la misma forma que en el escenario actual. Respecto a la cosecha ésta se encuentra relacionada, como en todos los escenarios, con la productividad del escenario en estudio.

### **4.2.3 Capital de Trabajo**

Esto corresponde a los gastos cíclicos que se producen en una empresa debido al desfase que ocurre entre los cobros a clientes y los pagos a realizar por los gastos operacionales. La incertidumbre que se produce en los cobros hace necesario tener un capital para cubrir estos desfases.

Una forma de estimarlo es en función de un porcentaje de los costos operacionales. Por esto en el escenario optimista se utiliza un 15% de los costos operacionales y en el escenario pesimista se considera un 20%.

### **4.2.4 Inversión**

Son los costos de largo plazo, se consideran después de impuestos en el flujo neto de caja, ya que estos egresos no son susceptibles a rebajas de impuestos. La buena definición de las inversiones va a incurrir para dar soluciones a problemas o aprovechar oportunidades estratégicas.

A continuación se muestra la inversión inicial del proyecto que es igual en los tres escenarios.

**Tabla 4-12: Inversión Inicial (escenario optimista- real- pesimista)**

INVERSION INICIAL					
Item	Desglose	cantidad	unidad	Valor	Sub total
<b>1 Red Hidráulica</b>					
	Cinta de riego 32mm	13500	m	\$ 110	\$ 1.485.000
	Cañería 63mm (17 Tiras)	102	m	\$ 1.318,8	\$ 134.521
	Cañería 75mm	294	m	\$ 1.509	\$ 443.646
	Flete material	2	c/u	\$ 150.000	\$ 300.000
				<b>Subtotal</b>	<b>\$ 2.363.167</b>
<b>2 Válvulas y Fittings</b>					
	Válvula compuerta (75mm)	5	c/u	\$ 20.865	\$ 104.325
	Codo 90°	270	c/u	\$ 1.763	\$ 476.010
	Gotero integrado	27639	c/u	\$ 110	\$ 3.040.290
	Tapon 4"	2	c/u	\$ 4.881	\$ 9.762
				<b>Subtotal</b>	<b>\$ 3.630.387</b>
<b>3 Equipos de Bombeo</b>					
	Bomba solar PS4000 C-SJ17-4 con controlador	1	c/u	\$ 2.694.959	\$ 2.694.959
	Arreglo fotovoltaico	1	c/u	\$ 2.311.141	\$ 2.311.141
	Kit de Instalación	1	kti	\$ 558.782	\$ 558.782
	Instalación	1	c/u	\$ 700.000	\$ 700.000
	Flete	1	c/u	\$ 150.000	\$ 150.000
				<b>Subtotal</b>	<b>\$ 6.414.882</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 12.408.436</b>

La inversión inicial de \$12.408.436 es la misma para el escenario optimista, real y pesimista.

#### 4.2.5 Financiamiento Mediante Crédito

La obtención de recursos mediante el dinero de terceros, o créditos, es un procedimiento regulado por las instituciones fiscales.

Esto consiste en la obtención de un capital inicial, por el cual se pagará una cuota periódica que incluye el pago de intereses y la devolución de parte del capital. Esta devolución parcial del capital se conoce como amortización.

Para el cálculo de la cuota<sup>8</sup> de un crédito la fórmula es bastante básica:

$$Cuota = K * i(1 + i)^{n-1}$$

El proyecto solicitará un préstamo de \$12.500.000 al 18,96% anual (Banco Santander) a 5 años.

$$Cuota = K * i(1 + i)^{n-1} = \$4.574.614$$

Teniendo el valor de la cuota se empieza a formar el cuadro:

n	Cuota	Interés	Amortización	Saldo capital
0				\$ 12.500.000
1	\$ 4.084.477			
2	\$ 4.084.477			
3	\$ 4.084.477			
4	\$ 4.084.477			
5	\$ 4.084.477			

- En la columna saldo de capital se incluye el monto del crédito en el periodo cero.
- En la columna interés del periodo 1 se coloca el monto por interés, esto es la tasa de interés por el saldo del capital al periodo anterior. Es decir el 18,96% se multiplica por el saldo del capital al n-1.
- En la columna de amortización se calcula del periodo 1. La cuota está formada por el interés y el capital. Si la cuota es de \$ 4.084.477.- y el interés es de \$2.370.000, el saldo corresponde a la amortización, que es \$1.714.477.
- Se calcula sucesivamente los siguientes periodos hasta los 5 años.

---

<sup>8</sup> El valor de la cuota se puede calcular de manera simple, por medio de planilla Excel de Microsoft. En función financiera mediante la tecla “pago” e incorporando las variables señaladas de capital (k) (o valor actual) n o número de periodos y la tasa de interés (i).

**Tabla 4-13 Crédito a solicitar.**

n	Cuota	Interes	Amortización	Saldo capital
0				\$ 12.500.000
1	\$ 4.084.477	2.370.000	\$ 1.714.477	\$ 10.785.523
2	\$ 4.084.477	2.044.935,14	\$ 2.039.542	\$ 8.745.981
3	\$ 4.084.477	1.658.237,99	\$ 2.426.239	\$ 6.319.742
4	\$ 4.084.477	1.198.223,05	\$ 2.886.254	\$ 3.433.488
5	\$ 4.084.477	650.989,29	\$ 3.433.488	\$ -

**Nota:** En el quinto año, el saldo del capital es cero, ya que se extingue la deuda.

### 4.3 Flujos Netos de Caja en los Distintos Escenarios

#### 4.3.1 Escenario Actual

Tabla 4-14: Flujo de caja escenario Actual:

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406	6.024.406
Costos Variables		-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312	-3.267.312
Costos Fijos		-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000	-4.943.000
Utilidad		-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907	-2.185.907
Impuesto	0	415.322	415.322	415.322	415.322	415.322	415.322	415.322	415.322	415.322	415.322
Utilidad Neta		-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584	-1.770.584
Inversión Inicial	-940.000										
Capital de trabajo		-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547	-1.231.547
Valor de desecho											
Flujo De caja	-940.000	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131

Bajo el escenario actual, y considerando una proyección a 10 años, se puede apreciar que la comparación de los ingresos versus los egresos (costos variables, costos fijos, impuestos, etc.), entregan resultados negativos en todos los periodos.

### 4.3.2 Escenario Optimista

Tabla 4-15: Flujo de caja escenario Optimista.

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059	27.169.059
Costos Variables		-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571	-9.613.571
Costos Fijos		-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500
Intereses		-2.370.000	-2.044.935	-1.658.238	-1.198.223	-650.989					
Utilidad		8.910.988	9.236.053	9.622.750	10.082.765	10.629.998	11.280.988	11.280.988	11.280.988	11.280.988	11.280.988
Impuesto	0	-1.693.088	-1.754.850	-1.828.322	-1.915.725	-2.019.700	-2.143.388	-2.143.388	-2.143.388	-2.143.388	-2.143.388
Utilidad Neta		7.217.900	7.481.203	7.794.427	8.167.039	8.610.299	9.137.600	9.137.600	9.137.600	9.137.600	9.137.600
Inversión Inicial	-12.408.436										
Amortizacion prestamo		-1.714.477	-2.039.542	-2.426.239	-2.886.254	-3.433.488					
Capital de trabajo		-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211	-2.383.211
Valor de desecho											
Prestamo	12.500.000										
Flujo De caja	91.564	3.120.212	3.058.450	2.984.978	2.897.575	2.793.600	6.754.389	6.754.389	6.754.389	6.754.389	6.754.389

De la comparación de los ingresos versus los egresos, realizando una proyección a 10 años, se ve claramente que el flujo es positivo en todos los años, por lo que se puede decir que existe un excedente.

### 4.3.3 Escenario Realista.

Tabla 4-16: Flujo de caja escenario Realista.

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		23.286.810	25.359.082	27.167.426	27.167.426	27.167.426	27.167.426	27.167.426	27.167.426	27.167.426	27.167.426
Costos Variables		-10.751.195	-11.426.618	-12.016.361	-12.016.361	-12.016.361	-12.016.361	-12.016.361	-12.016.361	-12.016.361	-12.016.361
Costos Fijos		-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500
Intereses		-2.370.000	-2.044.935	-1.658.238	-1.198.223	-650.989					
Utilidad		3.891.115	5.613.029	7.218.327	7.678.342	8.225.576	8.876.565	8.876.565	8.876.565	8.876.565	8.876.565
Impuesto	0,19	-739.312	-1.066.476	-1.371.482	-1.458.885	-1.562.859	-1.686.547	-1.686.547	-1.686.547	-1.686.547	-1.686.547
Utilidad Neta		3.151.803	4.546.554	5.846.845	6.219.457	6.662.717	7.190.018	7.190.018	7.190.018	7.190.018	7.190.018
Inversión Inicial	-12.408.436										
Amortizacion prestamo		-1.714.477	-2.039.542	-2.426.239	-2.886.254	-3.433.488					
Capital de trabajo		-2.553.854	-2.655.168	-2.743.629	-2.743.629	-2.743.629	-2.743.629	-2.743.629	-2.743.629	-2.743.629	-2.743.629
Valor de desecho											
Prestamo	12.500.000										
Flujo De caja	91.564	-1.116.528	-148.156	676.977	589.574	485.600	4.446.389	4.446.389	4.446.389	4.446.389	4.446.389

De la comparación de los ingresos versus los egresos, en una proyección a 10 años, se puede apreciar en el flujo de caja que sólo el primer y segundo periodo arrojan un valor negativo. Desde el tercer periodo se ve una tendencia positiva, por lo que se puede decir que existe un excedente.

### 4.3.4 Escenario Pesimista

Tabla 4-17: Flujo de caja escenario Pesimista.

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810	23.286.810
Costos Variables		-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509	-8.804.509
Costos Fijos		-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500	-6.274.500
Intereses		-2.370.000	-2.044.935	-1.658.238	-1.342.010	-650.989					
Utilidad		5.837.801	6.162.866	6.549.563	6.865.791	7.556.812	8.207.801	8.207.801	8.207.801	8.207.801	8.207.801
Impuesto	0	-1.109.182	-1.170.945	-1.244.417	-1.304.500	-1.435.794	-1.559.482	-1.559.482	-1.559.482	-1.559.482	-1.559.482
Utilidad Neta		4.728.619	4.991.921	5.305.146	5.561.291	6.121.018	6.648.319	6.648.319	6.648.319	6.648.319	6.648.319
Inversión Inicial	-12.408.436										
Amortización préstamo		-1.714.477	-2.039.542	-2.426.239	-2.886.254	-3.433.488					
Capital de trabajo		-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802	-3.015.802
Valor de desecho											
Prestamo	12.500.000										
Flujo De caja	91.564	-1.660	-63.422	-136.895	-340.765	-328.272	3.632.517	3.632.517	3.632.517	3.632.517	3.632.517

Da la comparación de los ingresos versus los egresos, en una proyección a 10 años, se puede observar que en el flujo de caja, hasta el quinto periodo, el resultado es un valor negativo. Desde el sexto periodo se ve una tendencia positiva, por lo que se puede decir que, a partir de ese punto, existe algún tipo de excedente.

### 4.3.5 Análisis del Flujo Neto de Caja

En los flujos de caja se puede realizar un análisis preliminar, usando para ello la suma de los flujos de caja en el periodo en estudio. Esto nominalmente podrá indicar si existe un excedente, o suma positiva, y habrá ganancias económicas. Sin embargo el dinero tiene un costo en el tiempo. Es decir, el dinero del año 10 no vale lo mismo que el de hoy, por lo que no se puede sumar dineros de distintos periodos. En tal sentido aparece el concepto de valor actual. Este valor corresponde a la equivalencia del valor de dineros futuros traídos al presente, mediante una conversión con un factor o tasa de descuento.

### 4.3.6 Tasa de Descuento (VAN)

Esta tasa permite actualizar los valores futuros a valores actuales. INDAP emplea un 12% como tasa de descuento en los proyectos agrícolas.

Si expresamos todas las cifras del flujo de caja en términos de valor actual, podemos sumarlas al ser ahora cifras de una misma unidad.

A continuación se mostrará el flujo de caja neto con los valores actuales del flujo de caja, tanto en la situación actual, como el optimista, real y pesimista

**Tabla 4-18: VAN Escenario Actual.**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	-940.000	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131
Valores Actuales del FC	-940.000	-2.680.474	-2.393.281	-2.136.858	-1.907.909	-1.703.490	-1.520.973	-1.358.012	-1.212.510	-1.082.599	-966.606

VAN	-17.902.711
-----	-------------

El escenario actual muestra claramente un VAN negativo, lo que indica que los ingresos actuales no son capaces de recuperar los costos operacionales. (En el año 0 se consideró como inversión lo existente actualmente).

**Tabla 4-19: VAN Situación Optimista.**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	91.564	3.120.212	3.058.450	2.984.978	2.897.575	2.793.600	6.754.389	6.754.389	6.754.389	6.754.389	6.754.389
Valores Actuales del FC	91.564	2.785.904	2.438.178	2.124.648	1.841.461	1.585.164	3.421.984	3.055.343	2.727.985	2.435.701	2.174.733

VAN	31.437.052
-----	------------

El escenario optimista muestra claramente un VAN positivo, lo que implica que los ingresos proyectados son capaces de recuperar los costos operacionales.

**Tabla 4-20: VAN Escenario Realista.**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	91.564	-1.116.528	-148.156	676.977	589.574	485.600	4.446.389	4.446.389	4.446.389	4.446.389	4.446.389
Valores Actuales del FC	91.564	-996.900	-118.109	481.859	374.685	275.542	2.252.679	2.011.321	1.795.822	1.603.412	1.431.618

VAN	8.908.812
-----	-----------

El escenario real muestra un VAN positivo, lo que implica que los ingresos proyectados son capaces de recuperar los costos operacionales.

**Tabla 4-21: VAN Escenario Pesimista**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	91.564	-1.660	-63.422	-136.895	-340.765	-328.272	3.632.517	3.632.517	3.632.517	3.632.517	3.632.517
Valores Actuales del FC	91.564	-1.482	-50.560	-97.439	-216.562	-186.270	1.840.346	1.643.166	1.467.113	1.309.922	1.169.573

VAN	6.969.371
-----	-----------

Si bien el escenario pesimista muestra un VAN bajo en comparación con el escenario optimista, que este valor sea positivo, indica que también bajo este escenario el proyecto es capaz de recuperar los costos operacionales.

En resumen, al sumar los valores actuales en cada uno de los flujos de caja se obtienen los siguientes resultados: VAN (Actual) \$-17.902.711; VAN (Optimista) \$31.437.052; VAN (Realista) \$8.908.812y VAN (pesimista) \$6.969.371.

Es decir, la suma de todos los costos, ingresos e inversiones a un valor actualizado dio para el caso actual un valor menor que cero, es decir negativo, por lo tanto en la actualidad se está perdiendo dinero.

Entre tanto, en los escenarios planteados a partir de la realización de la inversión (optimista, realista y pesimista), el valor actual neto dio mayor a cero, es decir positivo, por lo tanto, es posible ganar dinero realizando la inversión.

El proyecto de sistema de bombeo de agua por medio de energía solar, permite mejorar la eficiencia de riego, mejorando de manera relevante la producción de tomates, lo que se

aprecia en los tres escenarios planteados, siendo atractivo económicamente. Es decir, tiene un excedente por sobre lo exigido.

#### 4.3.7 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Consiste en definir, en términos actualizados, el año en que se recupera la inversión. Para esto se actualizan los flujos netos de caja y se suman en forma acumulada, año a año hasta alcanzar una cifra positiva.

**Tabla 4-22: PRI Escenario Actual**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	-940.000	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131	-3.002.131
Valores Actuales del FC	-940.000	-2.680.474	-2.393.281	-2.136.858	-1.907.909	-1.703.490	-1.520.973	-1.358.012	-1.212.510	-1.082.599	-966.606
Periodo de recuperacion de la inversion	-940.000	-3.620.474	-6.013.755	-8.150.613	-10.058.521	-11.762.011	-13.282.984	-14.640.996	-15.853.506	-16.936.105	-17.902.711

En escenario actual se ve claramente que no se logra recuperar la inversión en ningún periodo, ya que todos son valores negativos.

**Tabla 4-23: PRI Escenario Optimista.**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	91.564	3.120.212	3.058.450	2.984.978	2.897.575	2.793.600	2.675.389	2.548.389	2.415.389	2.277.389	2.134.389
Valores Actuales del FC	91.564	2.785.904	2.438.178	2.124.648	1.841.461	1.585.164	1.352.984	1.142.343	945.985	754.701	568.718
Periodo de recuperacion de la inversion	91.564	2.877.468	5.315.645	7.440.294	9.281.755	10.866.918	12.288.902	13.544.245	14.672.230	15.687.930	16.592.663

Como se aprecia en el escenario optimista, se comienza a recuperar la inversión desde el primer periodo.

**Tabla 4-24: PRI Escenario Real**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	91.564	-1.116.528	-148.156	676.977	589.574	485.600	4.446.389	4.446.389	4.446.389	4.446.389	4.446.389
Valores Actuales del FC	91.564	-996.900	-118.109	481.859	374.685	275.542	2.252.679	2.011.321	1.795.822	1.603.412	1.431.618
Periodo de recuperacion de la inversion	91.564	-905.336	-1.023.445	-541.586	-166.901	108.641	2.361.320	4.372.641	6.168.463	7.771.875	9.203.493

Como se aprecia en el escenario real, se logra se recuperar la inversión a partir el quinto periodo.

**Tabla 4-25: PRI Escenario Pesimista**

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo De caja	91.564	-1.660	-63.422	-136.895	-340.765	-328.272	3.632.517	3.632.517	3.632.517	3.632.517	3.632.517
Valores Actuales del FC	91.564	-1.482	-50.560	-97.439	-216.562	-186.270	1.840.346	1.643.166	1.467.113	1.309.922	1.169.573
Periodo de recuperacion de la inversion	91.564	90.082	39.522	-57.917	-274.479	-460.749	1.379.597	3.022.763	4.489.876	5.799.798	6.969.371

Al revisar el PRI del escenario pesimista, si bien, la inversión sólo se logra recuperar a partir del sexto periodo, esta se recupera, por lo que aún en el escenario más desfavorable, se logra recuperar lo invertido.

#### **4.3.8 Análisis de Sensibilidad de Precio.**

Hasta ahora, para realizar la evaluación económica del proyecto, sólo se ha variado los parámetros correspondientes a producción por hectárea, dejando constante el valor de venta. Hasta el momento, manteniendo constante los precios de venta en los mercados mayoristas, el proyecto resulta rentable y la inversión se logra recuperar pero, ¿Qué tan susceptible resulta el proyecto a las variaciones del mercado?, ¿Qué diferencias en el valor de venta puede soportar el proyecto antes de dejar de ser rentable?

Para responder estas interrogantes, se mantendrá constante los volúmenes de producción considerado para los distintos escenarios, por lo que se realizará una variación de los valores de venta, hasta encontrar el valor con el cual el VAN tiende a 0, con lo que el proyecto deja de ser rentable.

Luego de realizar las iteraciones correspondientes, tenemos que cada escenario responde de forma distinta a las variaciones en el precio. De esta forma, el escenario más susceptible a las variaciones del mercado es el pesimista, el cual, con una disminución en el precio superior a \$287 deja de ser rentable. Siguiendo la misma línea, el proyecto deja de ser rentable para los escenarios realista y optimista con la disminución en el valor de venta superior a \$318 y \$944 respectivamente.

Si volvemos al gráfico 4-1, de los precios indicados por la Odepa para los últimos 10 años, la temporada donde el precio de venta es más bajo (2013), se observa una diferencia, en relación al precio promedio utilizado como base de \$286,8.

### **4.3.9 Análisis de Resultados de Evaluación de Proyecto**

- Si bien el proyecto es rentable (VAN es positivo) en todos los escenarios, una variación no considerada, como por ejemplo, la variación del precio de venta del producto, puede causar la no rentabilidad del proyecto, ya que, este resulta en extremo sensible a las variaciones del precio de venta.

Bajo este contexto, una variación negativa del precio de venta del producto (manteniendo constante la producción), para el escenario optimista, superior a \$944 tendrá como consecuencia que el proyecto deje de ser rentable.

Realizando este mismo análisis para el caso pesimista, tenemos que la pérdida de rentabilidad se da a partir de variaciones negativas sobre los \$287.

- Para los valores considerados, tanto de precio fijo como de producción, la inversión se recupera en todos los escenarios, siendo el escenario pesimista el que más tarda en recuperarse, lográndose esto a partir del sexto año.
- Bajo el supuesto que los volúmenes de producción se mantienen en todos los escenarios y, a partir de variaciones en el precio de venta, podemos decir que para el escenario realista con disminuciones superiores a \$944, no se logra recuperar la inversión, al menos, dentro de los 10 años de proyección que considera el estudio.

### **4.4 Pérdida de Producción por Relación Agua Rendimiento**

Las posibles pérdidas de producción de tomates van a estar estrictamente relacionadas con la relación de riego. Es decir, si el predio cubre el 100% de la necesidad de agua para el cultivo, la pérdida de tomates es cero.

Si el riego del cultivo cubre solamente el 50%, la pérdida en dinero es bastante significativa, considerando que el kilo de tomate se transa a \$305 estaría perdiendo \$12.596.500 por hectárea, suma bastante relevante, sobretodo, si la inversión para tener independencia en el riego es de \$12.408.436. En la siguiente tabla se ve claramente cómo va aumentando la pérdida de cosecha debido a la falta de riego del predio.

Tabla 4-26: Pérdidas por falta de riego.

Condición del riego	Pérdida (ton/ha)	Pérdida (\$)
100% necesidades	0,00	0
90% necesidades	8,26	2.519.300
80% necesidades	16,52	5.038.600
70% necesidades	24,78	7.557.900
60% necesidades	33,04	10.077.200
50% necesidades	41,30	12.596.500

## 5 Conclusión

Dados los resultados anteriores y la información planteada, podemos decir que:

- La utilización de energías alternativas, como en este caso la solar, es un elemento rentable dentro de la producción de tomates, ayudando a solucionar los problemas derivados de la carencia eléctrica del sector, al menos, en cuanto a producción se refiere, pudiendo aumentar la capacidad productiva del predio en más de 100%, elevando drásticamente la producción 24,5 a 80 toneladas.
- Como la energía solar es un tipo limpio de energía, se logra además, una baja sustantiva en la huella de carbono generada en la producción de tomates. Además, si la comparamos con otras fuentes de energía como los combustibles fósiles, tenemos que, la utilización permanente de este tipo de energía, no genera costos adicionales, salvo los costos de mantención asociados a cualquier equipo.
- Al optimizar el proceso de riego, utilizando el método de riego por goteo, junto con disminuir el consumo de agua, se aprovecha de mejor forma este escaso recurso, vertiéndola donde es realmente necesario y en la cantidad que se requiere por planta, con lo que se consigue asegurar una mejor calidad del producto final.
- Al tecnificar el sistema de riego, es posible no sólo aumentar la producción en general, sino también la calidad, distribuyéndose de forma más homogénea los nutrientes que es posible adicionar a través de ella, obteniéndose un mayor porcentaje de productos de primera calidad y con ello, una aumento de los ingresos.

- En relación a la evaluación económica realizada del proyecto, bajo los supuestos indicados, éste resulta rentable para los tres escenarios proyectados (optimista, realista y pesimista), con valores actuales netos de \$31.437.052, \$8.908.812 y \$6.969.371 respectivamente, por lo que, es aconsejable la realización de dicha inversión.
- En relación a la recuperación de la inversión en el tiempo, el proyecto se vuelve atractivo, sobre todo en el escenario optimista, recuperándose a partir del primer periodo. Para el escenario realista, la inversión se recupera a partir del quinto periodo y para el pesimista a partir del sexto.
- También los resultados económicos muestran que, bajo las condiciones actuales de producción, sólo se está trabajando a pérdida y no hay proyección de mejora, por lo que independiente de que se opte por implementar el sistema de riego tecnificado mediante paneles solares, se debe cambiar el actual sistema de producción por uno más eficiente.
- En cuanto a la sensibilidad del proyecto en relación a la variación de los precios, si bien, la condición límite se da para el escenario pesimista con una variación en el valor de venta de \$287, la proyección actual es a la mantención de los precios.

## 6 Anexos

A continuación se nombran algunos proyectos realizados en Chile de riego utilizando energía solar.

- Proyecto Rauco, en la región del Maule, es uno de los proyectos, de este tipo, más grandes ejecutado en Latinoamérica. Beneficia a 22 agricultores de la comunidad de aguas Pozo la Arboleda del sector de La Palmilla, comuna de Rauco. En él se invirtieron más de 47 millones en la instalación de 108 paneles fotovoltaicos, que en conjunto producirán 20.520 watts para extraer 36 l/s desde un pozo de 30 metros de profundidad.

### Proyecto Rauco

Beneficiario: Comunidad de Aguas Pozo La Arboleda De La Palmilla  
Bomba LORENTZ : PS21K  
Potencia Instalada: 20.7 Kw  
Arreglo Fotovoltaico: 90 x 230w  
Sistema de Montaje: 6 x ETA 1500 H (tracker)  
Altura de Impulsión: 42 metros.  
Caudal disponible: 1315 m3/día  
Inversión: \$ 47.028.937  
Subsidio: Programa de Riego Asociativo de INDAP



- Proyecto Asociativo Licantén, ejecutado en Licantén, comuna de Vichuquén, beneficia a 14 agricultores que nunca antes habían tenido acceso a agua de riego ni tampoco para consumo humano. La iniciativa tuvo una inversión de más de 19 millones de pesos. Considera un sistema de captación de agua de vertientes. El sistema fotovoltaico contempla 6 paneles solares, que en conjunto producirán 1.680 watts, un estanque de acumulación de agua y una extensa red de distribución de siete kilómetros.

### Proyecto Asociativo Licantén

Beneficiario: Comunidad de Aguas de La Montaña  
Bomba LORENTZ : PS 4000  
Potencia Instalada: 2.24 Kw  
Arreglo Fotovoltaico: 8 x 280w  
Sistema de Montaje: ETA1500 H (tracker)  
Altura de Impulsión: 120 metros.  
Caudal disponible: 30 m3/día  
Inversión: \$ 9,845,465  
Subsidio: PROM



## 7 Bibliografía

1. V. Escalona, 2009, Nodo Hortícola VI Región, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.
2. R Ferreyra, G Selles, A Pimstein, “diseño, manejo y mantención de equipos de riegos localizados de alta frecuencia”, Boletín n°35 Instituto de investigación agropecuarias (INIA
3. B. Corpeño, 2004, “manual de cultivo de tomates”, Centro de inversión, desarrollo y exportación de agronegocios.
4. Estudio FAO riego y drenaje N°55, “Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”
5. J Jara, “Demanda de agua”, Facultad de ingeniería Agrícola, Universidad de de Concepción.
6. M Goyal, L Rivera J Pagan, Capitulo XIII “Diseño de sistemas de riego por goteo”
7. L Martínez, J M Peralta, “Manejo de riego localizado”, Boletín N°22 INIA
8. Comisión Nacional de Riego (CNR), departamento de proyectos e Instituto de investigación Agropecuaria (INIA), “Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado”
9. E Gaete, 2001, Tesis “Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado”, Facultad de Mecánica, Universidad de Talca.
10. R. Ormeño, 1999, Proyecto de Titulación “Análisis de metodologías de diseño en riego por goteo y micronet: Estudio de casos”, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.
11. Gobierno de Chile 2004, Ministerio de obras públicas, Dirección general de aguas, “Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca BioBio”.
12. E. Aqueveque, Memoria de título “bombeo de agua para riego en cerro calán utilizando energía solar fotovoltaica”, Facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
13. Volumen I, Guía para el desarrollo de proyectos de Bombeo de agua con energía fotovoltaica”, Sandia National Laboratories.

14. I Cabrera, R Fermín, 2003, Proyecto de título “Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua”, Universidad autónoma metropolitana Iztapalapa.
15. Curso de formulación de proyectos, modulo 1, programa de capacitación consultores Indap, 2009
16. Curso de formulación de proyectos, modulo 2, programa de capacitación consultores Indap, 2009
17. Revista Red Agrícola en sus versiones digital y papel, Artículo "Bombeo fotovoltaico campesino: Energía alternativa no convencional para riego", RA43/RA46.