



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo.

Seminario de Título presentado en
conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero de
Ejecución en Mecánica.

Profesor Guía:

Sr. Vicente Pita Vives

Miguel Angel Alveal Concha
Karen del Carmen Campos González

2014

INDICE

RESUMEN	4
OBJETIVOS.....	6
CAPITULO 1 : SISTEMA DE RIEGO Y PRODUCTO A CULTIVAR.....	7
1.1) SISTEMA DE RIEGO.....	7
1.2) PRODUCTO A CULTIVAR.	10
CAPITULO 2 : SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	10
2.1) INTRODUCCIÓN.....	10
2.2) DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.	11
2.2.2) ELECCIÓN DEL GOTERO:	12
2.3) MARCO DE PLANTACIÓN.....	13
2.4) PÉRDIDAS DE CARGA EN EL CIRCUITO.	14
2.5) CÁLCULO DE LA BOMBA DE EXTRACCIÓN DE AGUA.....	16
2.5.1) DIMENSIONADO DEL GRUPO DE BOMBEO.....	16
CAPITULO 3 : SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO	19
3.1) INTRODUCCIÓN.....	19
3.1.1) SISTEMA HIDROPÓNICO NFT.	21
3.2) DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÓNICO.....	22
3.3) PARÁMETROS DE PLANTACIÓN	25
3.4) SELECCIÓN DE BOMBA PARA EL CIRCUITO.....	26
CAPITULO 4 : EVALUACION ECONOMICA	28
5.1) CONSIDERACIONES GENERALES.....	28
5.2) SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.	29
5.3) SISTEMA DE RIEGO HIDROPÓNICO.....	30
CAPITULO 6 : CONCLUSIONES	32
BIBLIOGRAFÍA:.....	36
ANEXO 1 : SISTEMAS DE RIEGO EN AGRICULTURA	39
1.1) DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DEL RIEGO.....	39
1.2) SISTEMAS Y MÉTODOS DE RIEGO.....	39
1.2.1) RIEGO POR SUPERFICIE:	40
1.2.2) RIEGO POR ASPERSIÓN:.....	43
1.2.3) RIEGO LOCALIZADO	45
1.2.4) CULTIVO HIDROPÓNICO.....	47
1.3) TECNOLOGÍA DE RIEGO EN CHILE UTILIZADA EN LA AGRICULTURA.....	48
ANEXO 2 : CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO A CULTIVAR: LECHUGA	53
2.1) DEFINICIÓN DEL PRODUCTO.....	53
2.1.1) DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	53
2.1.2) COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHUGA.....	54
2.1.3) CLIMA	54

2.1.4) SUELO Y FERTILIZACIÓN	54
2.1.5) SEMILLERO	55
2.1.6) ENFERMEDADES	55
2.1.7) PLAGAS	55
2.2) MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES.....	56
2.2.1) FACTORES FISIOLÓGICOS CAUSANTES DE DETERIORO EN POS COSECHA	57
2.3) PERSPECTIVAS DEL MERCADO EN CHILE.....	57
ANEXO 3 : RIEGO POR GOTEO.....	58
3.1) COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	60
3.1.1) SISTEMAS DE FILTRADO.....	61
3.1.2) ELEMENTOS DE PRE FILTRADO	61
3.1.3) FILTRO DE MALLAS	62
3.2) EQUIPO DE FERTILIZACIÓN:.....	63
3.2.1) TANQUE DE ABONADO:	63
3.2.2) INYECTOR VENTURI:	63
3.3) RED DE TUBERÍAS:	63
3.3.1) TUBERÍAS SECUNDARIAS:.....	64
3.3.2) TUBERÍAS PORTA GOTEROS O LATERALES:.....	64
3.3.3) ACCESORIOS DE LA RED DE TUBERÍAS:.....	64
3.4) GOTEROS	64
3.4.1) TIPOS DE GOTEROS	65
3.5) CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE GOTERO.....	67
ANEXO 4 : DISEÑO Y DESARROLLO AGRONOMICO PARA RIEGO POR GOTEO.	69
4.1) ESTUDIO DE NECESIDADES.....	69
4.2) REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO	71
4.2.1) EVOTRANSPIRACIÓN (ET).....	71
4.2.2) EVOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (<i>ETO</i>).....	73
4.2.3) EVOTRANSPIRACIÓN BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (REAL), (<i>ETC</i>)	73
4.3) COEFICIENTE DE CULTIVO (<i>KC</i>)	74
4.4) REQUERIMIENTO DE AGUA POR PLANTA	75
4.5) VOLUMEN TOTAL.....	75
4.6) PORCENTAJE DE HUMEDAD (<i>PH</i>)	75
4.7) LÁMINA DE AGUA NETA OPTIMA (<i>Lno</i>).....	75
4.8) FRECUENCIA DE RIEGO.....	76
4.9) LAMINA BRUTA DE AGUA (<i>Lb</i>)	77
4.10) ELECCIÓN DEL GOTERO	77
4.11) TASA DE APLICACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO.(<i>Trg</i>)	79
4.12) TIEMPO DE RIEGO ÓPTIMO O DURACIÓN DEL RIEGO.....	80
ANEXO 5 : DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO EN RIEGO POR GOTEO	81
5.1) MARCO DE PLANTACIÓN.....	81
5.2) DISPONIBILIDAD DE AGUA	81
5.3) FUENTE DE ENERGÍA	82
5.4) NECESIDAD HÍDRICA.....	83

5.5) CÁLCULO DE BALANCE DE ENERGÍA.....	83
5.6 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA LÍNEA DE RIEGO.....	84
5.6) CÁLCULO DE PRESIONES EN LOS EXTREMOS DE LA LÍNEA LATERAL O DE RIEGO.....	86
5.7) CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍA SECUNDARIA.....	86
5.8) CÁLCULO DE LA PRESIÓN EN LOS EXTREMOS DE TUBERÍA LATERAL.....	89
5.9) CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA PRINCIPAL.....	89
5.10) CÁLCULO DE LA BOMBA DE EXTRACCIÓN DE AGUA.....	93
5.10.1) DIMENSIONADO DEL GRUPO DE BOMBEO.....	93
5.10.2) CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA.....	97
ANEXO 6 : SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO	102
6.1) MÉTODOS HIDROPÓNICOS	103
6.2) VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE LA HIDROPONÍA.....	104
6.3) SISTEMA HIDROPÓNICO NFT (NUTRIENT FILM TECHNIQUE).....	106
6.3.1) ELEMENTOS DEL SISTEMA NFT	107
6.3.2) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SISTEMA NFT.....	111
6.4) DISEÑO Y DESARROLLO AGRONÓMICO	112
6.4.1) ESTUDIO DE NECESIDADES.....	112
6.4.2) REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.....	114
6.5) MARCO DE PLANTACIÓN.....	122
6.5.1) CONSIDERACIONES	124
6.5.2) CRITERIOS DE DISEÑO	124
6.5.3) TUBERÍA DE LA LÍNEA DE RIEGO	124
6.5.4) SELECCIÓN DE BOMBA PARA EL CIRCUITO.....	125
ANEXO 7 : ESTIMACION DE COSTOS	127
7.1) INTRODUCCIÓN	127
7.2) SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	128
7.2.1) COSTOS DE INVERSIÓN.....	128
7.2.2) UTILIDAD INGRESOS POR VENTAS EN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	129
7.2.3) UTILIDAD PRIMER AÑO EN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	130
7.2.4) COSTOS OPERACIONALES ANUALES EN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	130
7.3) SISTEMA DE RIEGO NFT.....	133
7.3.1) COSTOS DE INVERSIÓN	133
7.3.2) INGRESOS POR VENTAS EN SISTEMA NFT.....	134
7.3.3) UTILIDAD PRIMER AÑO EN SISTEMA NFT.....	134
7.3.4) COSTOS OPERACIONALES ANUALES EN SISTEMA NFT.....	134
ANEXO 8 : TABLA DE EVOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MENSUAL.....	138

RESUMEN

Actualmente en la provincia de Concepción, la escasez hídrica, la reducción del espacio para riego, el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad especialmente las de consumo en fresco, la falta de nutrientes en los suelos de las zonas agrícolas, y la de incorporar sistemas más amigables con el medio, han llegado a afectar notablemente la producción de hortalizas.

Debido a estos problemas nace la necesidad de estudiar nuevos sistemas de regadío y formas de cultivo más eficientes y que optimicen el recurso agua.

Hoy en día, el sistema más utilizado en la agricultura es el de riego por goteo el cual suministra agua lentamente a las hortalizas, a través de goteros localizados a una cierta distancia por una cañería de distribución aplicando así, nutrientes y el agua necesaria al suelo en cada hortaliza, este sistema tiene una eficiencia del 90(%) con respecto a los sistemas de riego convencionales, tales como el riego por surco que tiene un 40% (*Manejos agronómicos relacionados con el riego para enfrentar una baja disponibilidad hídrica – Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile*), esta eficiencia es con respecto al total del agua suministrada a los cultivos.

A pesar de dicho rendimiento, en el presente seminario se hizo una comparación con la Nutrient Film Technic (NFT), sistema aplicado al cultivo Hidropónico.

El cultivo hidropónico bajo la técnica de NFT es un sistema innovador donde la finalidad principal es reducir los costos y realizar cultivos más eficientes. Esta técnica consiste en la recirculación de la solución nutritiva a través de varios canales de tubos de PVC (*Policloruro de vinilo*), ductos ABS (*Acrilonitrilo butadieno estireno*) o similares que llegan a un contenedor en común y que, con la ayuda de una bomba, sube nuevamente dicha solución nutritiva a cada canal, en tiempos previamente determinados sobre un temporizador. La recirculación suministra los nutrientes necesarios a las plantas por medio de las raíces que cuelgan desde las canastillas del contenedor para que la planta se desarrolle y crezca adecuadamente, sin la necesidad de estar en contacto con el suelo lo cual con lleva sufrir menos enfermedades.

En este seminario se considera el cultivo de lechuga, cuyo requerimiento hídrico se obtiene mediante el cálculo de la evapotranspiración, la cual incorpora factores climáticos, del cultivo y del entorno. Para este estudio los cultivos se mantienen bajo un ambiente controlado, suponiendo invernaderos que albergan la misma cantidad de hortalizas en ambos sistemas. Teniendo en cuenta estos factores se calcula el consumo de agua que requieren ambos sistemas.

El agua para el riego puede provenir de diferentes fuentes, tales como; ríos, lagunas, canales de regadío, punteras, pozos, etc.

En este caso, para el abastecimiento de agua se considera una puntera, ya que está enfocado al trabajo de los agricultores de la zona, los cuales extraen mayormente de pozos y napas subterráneas debido a la abundancia de cerros los cuales no permiten el acceso superficial del agua, esto conlleva a un consumo mayor de energía para poder extraer el recurso y conducirlo al cultivo.

En el ámbito económico, se determinó donde se obtiene el mejor rendimiento, comparando ambos sistemas de cultivo, en beneficio de la comunidad agrícola.

En resumen en este trabajo se estudió y comparó los sistemas de cultivo de hortalizas hidropónico y el sistema de riego por goteo y se concluye que el sistema NFT es superior al sistema tradicional de cultivo, incluso si se utiliza un método de riego tecnificado como es el riego por goteo debido a que en el sistema NFT la hortaliza utiliza solo la cantidad que ella requiere para su correcto crecimiento, esto es que no existen pérdidas de agua en el suelo, por lo tanto, la bomba de extracción de agua trabaja muy poco tiempo. En cuanto a la bomba de recirculación se requiere que el agua solo circule por el sistema, esta bomba es de muy bajo consumo.

En cuanto al periodo de cultivo en el sistema NFT es mucho menor debido a que la planta recibe una nutrición correcta durante su desarrollo, lo cual no es así en sistema tradicional debido a las características del suelo, esto conlleva a obtener mayores cosechas anuales y, por lo tanto, mayor rentabilidad que en el riego por goteo.

OBJETIVOS.

Objetivo General:

Hacer un estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y de riego por goteo, para el cultivo de lechugas en invernadero.

Objetivos Específicos:

- Diseñar un sistema de riego hidropónico y otro de riego por goteo, para igual producción de lechugas.
- Comparar técnicamente cada sistema incluyendo el recurso hídrico.
- Estimar los costos de implementación y de operación de cada sistema.

NOTAS:

- a) El desarrollo del presente seminario de título se ha estructurado de la siguiente forma.
 - Un resumen ejecutivo de cuatro capítulos relativamente breves.
 - Ocho anexos en los que se entrega información detallada.
- b) El resumen ejecutivo incluye sólo algunas figuras y tablas que se presentan en los anexos.

CAPITULO 1

SISTEMA DE RIEGO Y PRODUCTO A CULTIVAR.

1.1) Sistema de riego

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubra sus necesidades, complementando la recibida en forma de precipitaciones. Cuando se trata de distribuir agua por una parcela de cultivo se tropieza con numerosas dificultades, que ocasionan pérdidas e impiden que el agua se reparta de forma homogénea.

Siempre es importante tratar de solventar estas dificultades, pero más aún cuando el agua es escasa y cuesta dinero.

La uniformidad de aplicación se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela regada. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo y su máxima capacidad productiva.

Los sistemas de riego pueden clasificarse en tres categorías esenciales:

- a). Riego por superficie: La energía que distribuye el agua por la parcela es la derivada de su propio peso, al circular libremente por el terreno a favor de pendiente. Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere el reparto del agua mediante surcos, tablares, canteros para controlar su distribución.
- b). Riego por aspersión. El agua es conducida a presión, al llegar a los emisores (aspersores) produce gotas que mojan todo el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia.
- c). Riego localizado. Se moja sólo la parte del suelo próxima a las plantas. El agua a baja presión llega mediante tuberías hasta las plantas.

d). Cultivo hidropónico: Es una técnica de producción agrícola donde se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución líquida re circulante en un sistema de tuberías en las cuales van insertas las plantas. (**Más antecedentes en anexo 1**).



Figuras N° 1.1
Sistema de riego localizado e hidropónico.

Tabla n° 1.1
Comparación de sistema de riego

Parámetro	Cultivo en tierra regado por goteo	Cultivo hidropónico
Número de Plantas	Limitado por la nutrición que puede proporcionar el suelo y la disponibilidad de la luz.	Limitado por la iluminación; así es posible una mayor densidad de plantas iguales, lo que resulta en mayor cosecha por unidad de superficie.
Preparación del Suelo	Barbecho, rastreo, surcado.	No existe preparación del suelo.
Control de Malas Hierbas	Gasto en el uso de herbicidas y labores culturales.	No existen y por lo tanto no hay gastos al respecto.
Enfermedades y Parásitos del Suelo	Gran número de enfermedades del suelo por nematodos, insectos y otros organismos que podrían dañar la cosecha. Es necesaria la rotación de cultivos para evitar daños.	Existen en menor cantidad las enfermedades pues prácticamente no hay insectos u otros animales en el medio de cultivo. Tampoco hay enfermedades en las raíces.

		No se precisa la rotación de cultivos.
Agua	<p>Las plantas se ven sujetas a menudo a trastornos debidos a una pobre relación agua suelo, a la estructura del mismo y a una capacidad de retención baja.</p> <p>Las aguas salinas no pueden ser utilizadas, y el uso del agua es poco eficiente tanto por la percolación como por una alta evaporación en la superficie del suelo.</p>	<p>No existe stress hídrico; se puede automatizar en forma muy eficiente mediante un detector de humedad y control automático de riego.</p> <p>Se puede emplear agua con un contenido relativamente alto de sales, y el apropiado empleo del agua reduce las pérdidas por evaporación y se evita la percolación.</p>
Fertilizantes	<p>Se aplican a boleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin ser uniforme su distribución.</p>	<p>Se utilizan pequeñas cantidades, y al estar distribuidos uniformemente (disueltos), permiten una absorción más homogénea por las raíces.</p>
Nutrición	<p>Muy variable; pueden aparecer deficiencias localizadas. A veces los nutrientes no son utilizados por las plantas debido a una mala estructura del terreno o a un pH inadecuado, del cual hay dificultad para muestreo y ajuste</p>	<p>Hay un control completo y estable de nutrientes para todas las plantas, fácilmente disponible en las cantidades precisas. Además hay un buen control de pH, con facilidad para realizar muestras y ajustes</p>
Calidad del Fruto	<p>A menudo existe deficiencia de Calcio y Potasio, lo que da lugar a una escasa conservación.</p>	<p>El fruto es firme, con una capacidad de conservación que permite a los agricultores cosechar la hortaliza madura y enviarla, a pesar de ello, a zonas distantes.</p>
Costo de Producción	<p>Uso de mano de obra, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, preparación del suelo, etc.</p>	<p>Todas las labores pueden automatizarse, con la consiguiente reducción de gastos.</p> <p>No se usan además implementos agrícolas. En resumen: ahorro de tiempo y dinero en estos aspectos.</p>
Sustratos	<p>Tierra.</p>	<p>Possibilidad de emplear diversos sustratos de reducido costo, así como materiales de desecho</p>
Mano de Obra	<p>Necesariamente se debe contar con conocimientos, o asesoría.</p>	<p>No se necesita, a pequeña escala, mano de obra calificada.</p>

Fuente: elaboración propia.

1.2) Producto a cultivar.

El presente trabajo está basado en el cultivo de Lechuga, Lactuca sativa. La cual pertenece a la familia Asteraceae o Compuesitae, y es originaria del Asia menor. Es la planta más importante dentro de las hortalizas de hoja, con el fin de consumo, siendo ampliamente cultivada en todo el mundo en numerosas variedades y siendo la más importante de las hortalizas de hojas en Chile.

La variedad elegida para el estudio será la Lollo Bionda ya que ésta es apta para el cultivo en tierra como para el cultivo en hidroponía. (**Más antecedentes en anexo 2**)



Figuras N° 1.2
Lechuga Lollo bionda.

CAPITULO 2

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.

2.1) Introducción.

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de «riego gota a gota», es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y fertilizantes.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

Esta técnica es la innovación más importante en agricultura desde la invención de los aspersores en 1930.

Características:

- Utilización de pequeños caudales a baja presión.
- Localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión (emisores o goteros).
- Al reducir el volumen de suelo mojado y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con una alta frecuencia de aplicación, a caudales pequeños. Si la presión del agua aumenta se puede satisfacer lugares de cultivo a mayor altura. (**Más antecedentes en anexo 3**)

2.2) Diseño y desarrollo de un sistema de riego por goteo.

2.2.1) Estudio de necesidades.

Topografía: Es necesario hacer un levantamiento topográfico del sector para determinar la superficie, forma, pendiente, localización y cotas para saber dónde situar el equipo de bombeo.

Suelo: El suelo considerado, es de tipo franco arcilloso. Este tipo de suelo presenta una rica composición orgánica para el cultivo, pero al contener una alta cantidad de arcilla retiene más el agua formando un bulbo más ancho

Aqua: El recurso hídrico se pretende extraer de napas subterráneas por lo que es importante conocer la disponibilidad durante el año, lo que implica estudio no incluido en este seminario.

Bulbo: El bulbo húmedo es la región de humedecimiento alrededor de la planta. Este varía según el tipo de suelo y la velocidad de infiltración que éste tenga.

Clima: El sistema de riego por goteo no se verá afectado por vientos ni exceso de agua (precipitaciones) ya que la salida del fluido será controlado gota a gota y además por estar implementado en un invernadero.

Para conocer la cantidad de agua necesaria para el cultivo se debe tener en cuenta una serie de parámetros agronómicos que tienen que ver con el tipo de suelo, la planta a cultivar y el ambiente en que se cultiva.

El cultivo absorbe el agua por medio de sus raíces, por lo tanto, suelo y planta están sometidos a efectos climáticos, los cuales generan procesos que afectan en la dosis, el tiempo y los intervalos de riego etc. En los requerimientos del estudio hay efectos que son determinantes a la hora de planificar y diseñar el sistema de riego, tales como la transpiración y evaporación donde se consideran en forma conjunta y dan paso a la evotranspiración.

Junto con este dato es importante conocer una serie de parámetros que permiten conocer la cantidad de agua necesaria para un correcto desarrollo de la planta. Estos parámetros fueron calculados y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.1
Parámetros agrícolas.

Evapotranspiración referencial (ET_0)	$3 \left(\frac{mm}{dia} \right)$
Coeficiente de cultivo (Kc)	0,6
Evotranspiración bajo condiciones estándar (real), ET_c	$ET_c = 1,8 \left(\frac{mm}{dia} \right)$
Requerimiento de agua por planta	$V_a = 0,216 \left(\frac{lt}{dia} \right)$
Volumen total	$V_t = 0,24 \left(\frac{lt}{hora} \right)$
Lámina neta	$L_{no} = 9,0 \text{ (mm)}$
Frecuencia de riego	$F_{ro} = 3 \text{ (dias)}$
Lámina bruta	$L_b = 10 \text{ (mm)}$
Caudal requerido por planta	$q_0 = 1,2 \left(\frac{lt}{h} \right)$
Tiempo de riego	$T_{ro} = 1,18 \text{ (h) durante el dia}$

Fuente: elaboración propia.

(Más antecedentes en anexo 4)

2.2.2 Elección del Gotero:

La elección del gotero parte fundamental del diseño, está basada en los parámetros de plantación (separación entre plantas e hileras) en las necesidades hídricas del cultivo y en los factores agrícolas (tipo de suelo, agua.), según estos parámetros se obtiene el caudal necesario a entregar a cada planta, el cual es de

$1,2(\frac{lt}{h})$, que se aproxima a $2 (\frac{lt}{h})$ para tener un margen de regulación. Además, los goteros están estandarizados en razón a los caudales, por lo tanto tenemos:

- Gotero interlínea de caudal medio a 1 bar: $2.0(\frac{lt}{h})$ de 16 (mm) de diámetro.
- Coeficiente de variación : 3,01 (%)
- Curva caudal - presión: $Q = 3,85615 \cdot p^{0,543344}$.

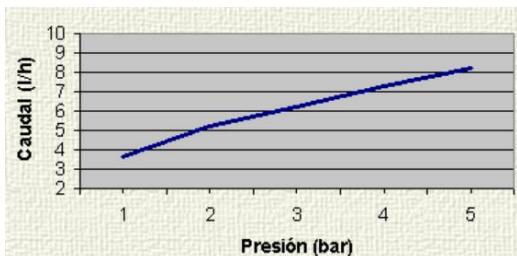


Figura N° 2.1
Curva característica del gotero.

Fuente <http://www.plasgot.com/INDEX.HTM>

(Más antecedentes en anexo 4 (4.10))

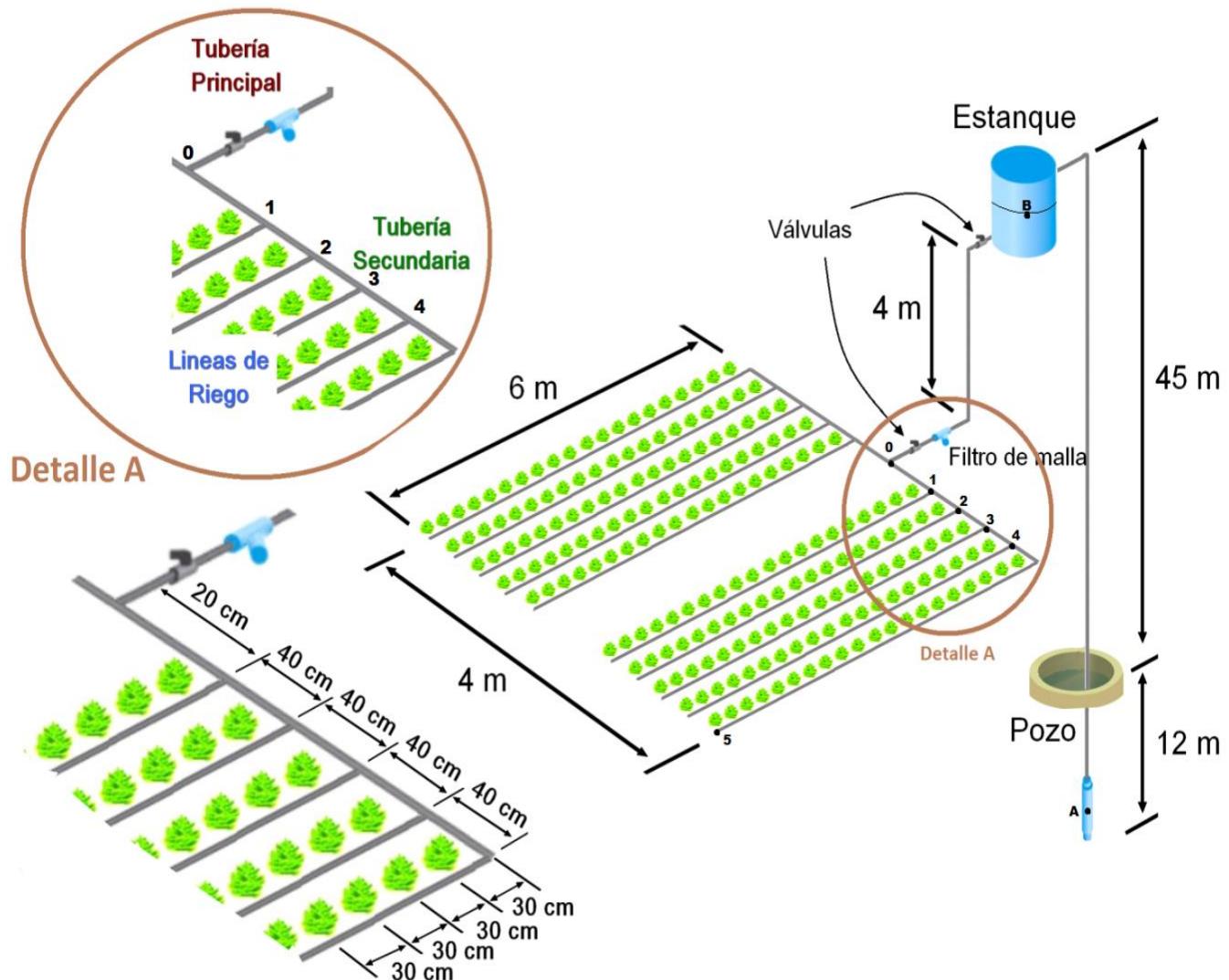
2.3) Marco de plantación.

Para el diseño del sistema de riego por goteo se considera una superficie de $6 \cdot 4 (m)$ en un invernadero, con las siguientes características.

El diseño cuenta con 10 hileras de plantación con un largo de 6 (m) cada una.

- Separación entre hileras de 0,4 (m).
- Separación entre emisores o plantas de 0,3 (m).
- Lechugas: 200 en total con 20 plantas en cada línea de riego.

Figura 2.2
Marco de Plantación



Fuente: Elaboración propia

2.4) Pérdidas de carga en el circuito.

Según la elección del gotero y el cálculo del requerimiento de agua por planta $q_0 = 1,2 \left(\frac{l}{h}\right)$ y la cantidad de plantas (200) entonces el caudal total requerido por el sistema será 240 litros por hora.

Las pérdidas de carga en la tubería lateral o línea de riego se pueden obtener a través de las siguientes ecuaciones:

$$h_f = J' \cdot f_c \cdot L \dots \dots \dots \quad (1)$$

Donde J' se obtiene de la siguiente ecuación:

$$J' = J \cdot \left[\frac{S_e + l_e}{S_e} \right] \dots \dots \dots \quad (2)$$

Donde J viene dado por la ecuación de Hanzen-Williams:

$$J = 1.21 \cdot 10^{12} \left[\frac{q_0^{1.852}}{C^{1.852} \times D^{4.87}} \right] \dots \quad (3)$$

Dónde:

L : Largo del lateral 6 (m).

f_c : Coeficiente de compresión para la descarga a lo largo de la tubería

q_0 : Caudal medio en la línea 0,0066 ($\frac{m^3}{s}$)

s_e : Separación entre emisores 0,3 (m).

l_e : Longitud equivalente del gotero 0,23 (m).

C : Coeficiente de fricción para una tube

Reemplazando los datos en las ecuaciones se obtienen:

Tabla N° 2.2

Pérdida de carga	
Línea de Riego	$h_{f1} = 0,056 \text{ (m)}$
Tubería Secundaria	$h_{f2} = 0,3 \text{ (m)}$
Tubería Principal	$h_{f3} = 0,00746 \text{ (m)}$

Fuente: Elaboración propia

A la pérdida de carga de la tubería principal se deben sumar las pérdidas en la toma de agua del estanque y el filtro de malla, lo cual da un valor para la pérdida de carga de la tubería principal de:

$$h_f = 0,00746 + 1,2 + 1,2 = 2,4 \text{ (m)}$$

Ahora sumando las pérdidas de carga de las líneas de riego y la tubería secundaria a las pérdidas de la tubería principal, se tiene:

$$H = 0,055 + 0,3 + 2,4 = 2,755 \text{ (m)}$$

Según los cálculos se observa que la pérdida total de carga por el flujo de fluido es de 2,755 (m) y se tiene disponible en el estanque, como energía de presión, 4 (m.c.a) por lo tanto el sistema puede funcionar sin bomba, este sistema se le conoce como sistema de riego por gravedad.

(Más antecedentes en anexo 5)

2.5) Cálculo de la bomba de extracción de agua.

2.5.1) Dimensionado del grupo de bombeo.

Este grupo de bombeo debe ser capaz de llenar de agua el estanque que alimenta el sistema de riego por goteo, a razón de 280 (L) cada 3 días, lo cual es un caudal extremadamente pequeño. Dicha agua se extrae de una puntera ubicada 57 m más abajo, por lo tanto la altura de la bomba será de 57 m más las pérdidas de carga. Para estimar las pérdidas de carga se considera un caudal preliminar (caudal de acuerdo al requerido por el cultivo) según el siguiente criterio:

- Número de plantas a regar: 200 lechugas
- Caudal de riego por planta: $1,2 \left(\frac{l}{h} \right)$
- Caudal total necesario: $240 \left(\frac{l}{h} \right) = 0,24 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 4 \left(\frac{l}{min} \right)$

Por otro lado, en cuanto a la energía que debe entregar la bomba de agua para el riego, también llamada altura manométrica (H), que se compone de la suma de los siguientes términos:

$$H = Hg + \Delta p$$

Dónde:

Hg ... representa la altura geométrica que debe salvar el agua, es decir, en este caso es la profundidad a la que se encuentra el nivel de agua en el pozo más la distancia de la puntera al estanque. Se estiman 57 (m), según realidad particular conocida.

Δp ... término es el que considera las pérdidas de carga que se producen en la instalación. Se calcula con las ecuaciones de Darcy-Weisbach

$$h_{f\ Reg} = f \cdot \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad h_{f\ Sing} = \sum K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

Reemplazando los datos en la ecuación de pérdidas regulares se tiene:

$$h_{f\ Reg} = 0,061 \text{ (m)}$$

Reemplazando los datos en la ecuación de pérdidas singular se tiene:

$$h_{f\ Sing} = 0,0926 \text{ (m)}$$

Se suman ambas pérdidas de carga para así obtener la pérdida total del circuito:

$$\text{Pérdida de carga total} = h_{f\ Reg} + h_{f\ Sing}$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 0,1536 \text{ (m)}$$

Pérdida de carga a lo largo de la cañería $\Delta p = 0,15 \text{ (m)}$

Sumando ambos conceptos se obtendrá la altura manométrica total o presión que debe entregar la bomba:

$$H = Hg + \Delta p$$

$$H = 57 + 0,15 = 57,15 \text{ (m)}.$$

Para saber cuál es la potencia requerida, es por ello que se utilizará la siguiente ecuación:

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H$$

Dónde:

N: Potencia del fluido (**W**).

γ: Peso específico del fluido 9800 ($\frac{N}{m^3}$).

Q: Caudal 4 ($\frac{l}{min}$) = 240 ($\frac{l}{h}$) = 0,24 ($\frac{m^3}{h}$).

H: Altura manométrica 57,15 (m).

Reemplazando los valores en la ecuación, se tiene:

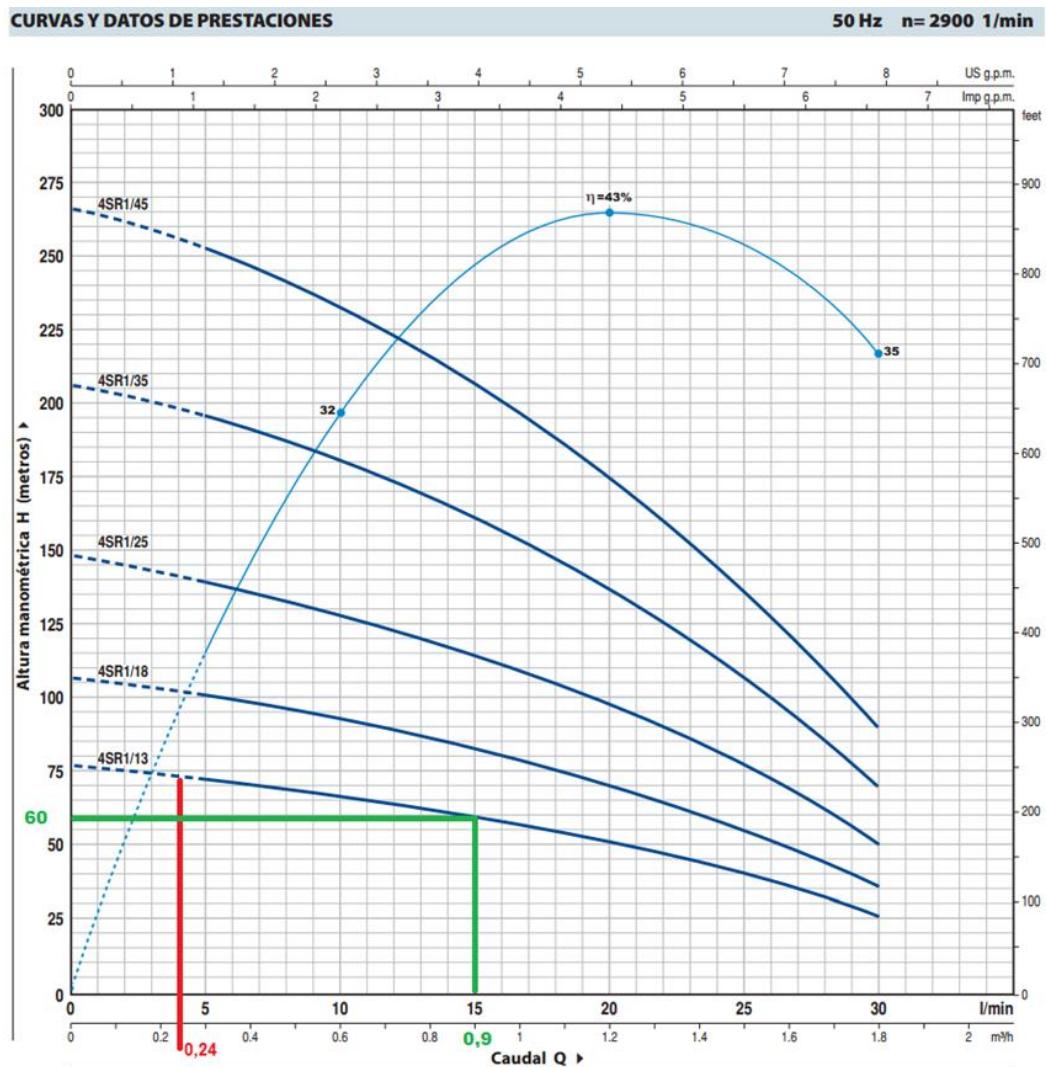
$$N = 9800 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 57,1 = 55,9(\text{W}) \Rightarrow 0,056(\text{kW})$$

Según los requerimientos de caudal 0,24 $\frac{m^3}{h}$, altura 57(m) y la potencia necesaria (0,056 (W)) y el tipo de recurso hídrico a utilizar, en este caso se usarán aguas subterráneas, por lo tanto se necesitan bombas sumergibles. Se procede a buscar

la que mejor se ajuste a los requerimientos y se eligió la bomba sumergible para pozos de 4 pulgadas Pedrollo 4SRm1/13

(Más antecedentes en anexo 5 (5.10))

Gráfico 2.1
Curva Característica de la Bomba.



MODELO		POTENCIA		H metros	Q m^3/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	5	10	15	20	25	30
4SR1m/13	4SR1/13	0.37	0.50		77	73	67	60	51	40	26	
4SR1m/18	4SR1/18	0.55	0.75		107	101	93	83	71	55	36	
4SR1m/25	4SR1/25	0.75	1		148	140	129	115	98	77	50	
4SR1m/35	4SR1/35	1.1	1.5		206	197	182	161	136	107	70	
4SR1m/45	4SR1/45	1.5	2		266	254	234	207	176	137	90	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

Fuente: <http://sealing.cl/bombas-para-pozo/690-sumergible-pedrollo-4blockm-4-9.html>

El caudal estimado que entregará la bomba para una altura aproximada de 60 m es de 0,9 m³/h es con este caudal que se llenará el estanque cuando sea necesario.

Obviamente la bomba está muy sobredimensionada, pero en primera instancia no se encuentra comercialmente una bomba de menor capacidad.

En consecuencia la bomba seleccionada se puede utilizar, con el propósito de aumentar la producción de hortalizas o con otros fines particulares, esto según el requerimiento del agricultor.

CAPITULO 3

SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO

3.1) Introducción.

La hidroponía es un conjunto de técnicas que sustituye el suelo y que significa trabajo en agua, donde los cultivos son alimentados mediante una solución de nutrientes minerales (sales minerales y fertilizantes) que se les suministra por medio de ésta.

Características:

- Esta técnica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional (precocidad).
- Favorece un ahorro considerable en el uso del agua.
- Es económica y eficiente.
- Disminuyen las enfermedades de la raíz de los cultivos, lo que reduce drásticamente la aplicación de plaguicidas.
- Permite al productor obtener cosechas de buena calidad y libres de elementos tóxicos.

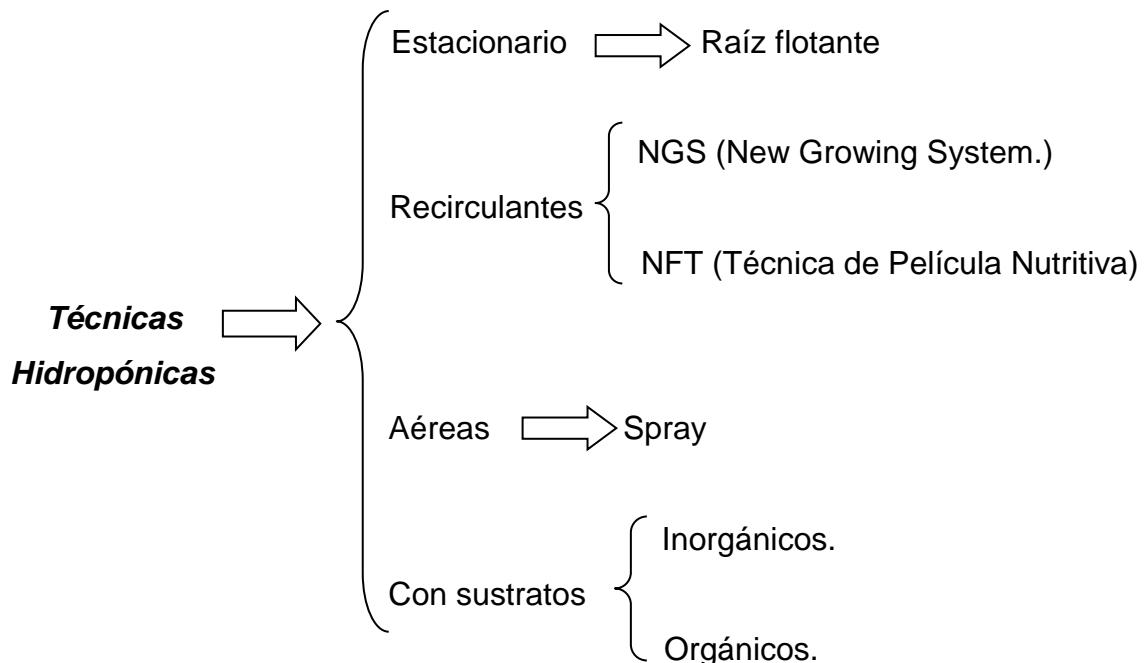
Tabla 3.1
Comparativa de cultivos tradicionales versus sin suelo.

	Sobre Suelo	Sin Suelo
Nutrición de planta.	Muy variable difícil de controlar	Controlada, estable fácil de chequear y corregir.
Espaciamiento.	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio.
Control de malezas.	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes.
Enfermedades y patógenos del suelo y nematodos.	Enfermedades del suelo	No existen patógenos del suelo.
Agua	Plantas sufren estrés ineficiente uso del agua	No existe estrés hídrico pérdida casi nula.

Fuente: Universidad de OSAKA, Japón, JICA, Curso de Horticultura Protegida 1998

Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de sustrato, como grava, arena, poliestireno expandido, piedra pómez, serrines, arcillas expansivas, carbones, cascarilla de arroz, a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el precoz crecimiento y desarrollo de la planta.

Existen varias técnicas de cultivo hidropónico, las cuales se podrán ver en el siguiente esquema.



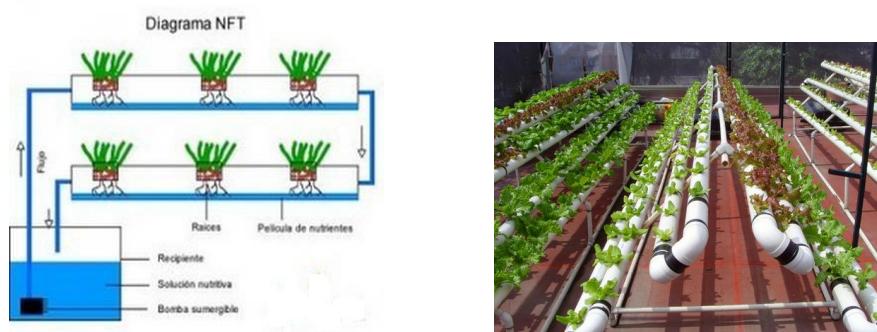
Cabe señalar que dentro de estas técnicas, el proyecto se centrara en el sistema Hidropónico de manera específica en el NFT (Técnica de Película Nutritiva).
(Más antecedentes en anexo 6).

3.1.1) Sistema Hidropónico NFT.

El sistema de NFT (Nutrient Film Technique) o "la técnica de película nutritiva", es el sistema hidropónico recirculante más popular para la producción de cultivos alrededor del mundo. Se basa fundamentalmente en el desarrollo de las hortaliza en múltiples canales de PVC dispuestos en zig zag, llamados canales de cultivo, donde pasa un bajo caudal, permanente y con una pequeña cantidad de solución nutritiva la cual fluye por las raíces de las plantas manteniéndolas nutritidas, hidratadas, oxigenadas y de esta manera en constante desarrollo.

Cada canal de cultivo tiene agujeros, donde se colocan las plantas, estos canales están apoyados sobre alguna estructura (caballetes, mesas etc.) que debe tener una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución nutritiva, dependiendo del diseño del sistema.

La solución es recolectada y almacenada en un recipiente ya sea cubeta o un tanque (esto depende de los litros de solución nutritiva) mediante una bomba se eleva de la solución hasta los canales de cultivo.



Figuras N° 3.1
Sistema de cultivo NFT

Tabla N° 3.2
Cuadro de ventajas y desventajas de sistema NFT

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Permite un control más preciso sobre la nutrición de la planta • Simplifica los sistemas de riego, porque elimina la esterilización del suelo y asegura una cierta uniformidad entre los nutrientes de la planta. • Maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva, por lo que el crecimiento de los productos es acelerado, siendo posible obtener en el año más producción. • La instalación resulta sencilla. • Las plantas cosechadas se remueven fácilmente. • Puede operar casi automáticamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Este sistema requiere de un cuidado adecuado del estado de la solución nutritiva para rendir resultados. • Los costos iniciales son mayores que con otros sistemas.

Fuente: elaboración propia.

(Más antecedentes en anexo 6 (6.3))

3.2) Diseño y desarrollo de un sistema de cultivo hidropónico.

3.2.1) Estudio de necesidades.

De acuerdo con el relieve del lugar, se realiza un levantamiento topográfico del sector donde se instalará el invernadero con el sistema hidropónico, con el fin de determinar superficie, forma, pendiente, localización y cotas desde donde se pretende situar el equipo de bombeo, esto último con el objetivo de calcular los requerimientos del sistema.

- Clima: El sistema hidropónico no se verá afectado por vientos ni exceso de agua (precipitaciones) esto por estar implementado en un invernadero.
- Temperatura: Es importante mantener las soluciones entre 13 y 15 (°C) con el fin de prevenir una absorción reducida de nutrientes
- Humedad: Factor importante dentro del sistema, ya que una mala manipulación de agua puede saturar el cultivo.
- pH: Este parámetro depende del requerimiento del cultivo.

Normalmente se mantiene el pH entre 5,5 y 6,5, para la mayoría de los cultivos en invernadero.

- Conductividad Eléctrica: Se recomienda mantener un nivel entre 1,5 a 2,3 ($\frac{ms}{cm}$) de electro conductividad para que las plantas no se deshidraten por exceso de sales o al contrario, absorban menos nutrientes por ausencia de los mismos.
- Oxigenación: El cultivo se oxigena a través de la circulación del fluido por los canales de cultivo y principalmente por la caída abrupta sobre el remanente de solución en el estanque colector.

De acuerdo al diseño de la instalación se tiene un total de 13 canales de cultivo, los cuales deben tener un volumen de agua circulando en su interior (lámina de agua) la cual no deberá alcanzar una altura superior a los 4 (mm) ya que así se favorece la aireación y oxigenación del cultivo, este volumen total es de 14,7 (litros) los cuales se encuentran en recirculación por el sistema, se debe tener en cuenta esta cantidad ya que si el agua del estanque baja de este nivel las plantas no recibirán la cantidad de agua necesaria.

La longitud de los canales de cultivo será de 4 (m)

La pendiente para que el sistema NFT fluya cíclicamente es importante para que el fluido descienda a través de estos por gravedad y a una velocidad adecuada, esta pendiente se recomienda que sea alrededor de un 2 (%) debido a que así se le da tiempo para que las raíces absorban los nutrientes.

El sustrato es un medio sólido e inerte, el cual protege y da el soporte para el desarrollo de la raíz del cultivo. Se utilizará un sustrato orgánico del tipo turba, ya que alcanza un 98 (%) de humedad el cual ayudara a mitigar el consumo de agua.

- Elección de la solución Nutritiva.

Hay que considerar la incorporación adecuada de elementos minerales no esenciales para el crecimiento de las plantas (sulfato), ya que la acumulación de

estos aumenta la concentración de manera innecesaria y esto puede inhibir la absorción de agua en el cultivo, por lo tanto la formulación elegida debería contener aquellos fertilizantes que aporte en mayor proporción los elementos esenciales y en una reducida cantidad aquellos no deseados.

Solución nutritiva a utilizar es PHOSTROGEN. (*Origen inglés*).

Es un polvo de color blanco soluble en agua y de inmediata disponibilidad, tiene una fórmula estable la cual no se deteriora por los efectos de reacciones químicas o evaporación.

Usos:

- En hortalizas, frutas, flores, prados, arbustos, árboles y plantas de interior.
- En almácigos, trasplantes, plantas adultas en macetas, bolsas y jardineras.
- En cultivos hidropónicos se usa solo, sin adicionar ningún otro fertilizante.

Fuente (<http://www.jardisen.cl/>)

Tabla N° 3.3

Composición de 12 elementos esenciales de PHOSTROGEN.

Composición	%
Nitrógeno ($NH_4 + NO_3^-$)	1 y 2
Ácido fosfórico (P_2O_5)	10
Oxido de potasio (K_2O)	27
Trióxido de azufre (SO_3)	7,5
Oxido de magnesio (MgO)	2,5
Hierro (Fe)	0,04
Calcio (Ca)	< 0,025
Boro (B)	< 0,02
Manganoso (Mn)	< 0,02
Cobre (Cu)	0,0055
Zinc (Zn)	0,0055
Molibdeno (Mo)	0,0016

Fuente (<http://www.jardisen.cl/>)

Aplicación:

- Se aplica disuelto en agua para incorporar el fertilizante mediante el riego.

DOSIS:

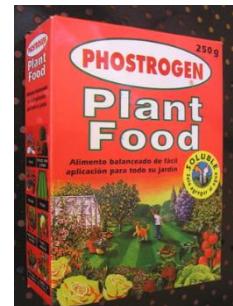
Lechugas hidropónicas: entre 1 y 2 gramos de PHOSTROGEN por litro de agua.

- Conductividad eléctrica en cultivos hidropónicos:

LECHUGA: 1.5 a 2.3 ($\frac{ms}{cm}$)

Fuente (<http://www.jardisen.cl/>

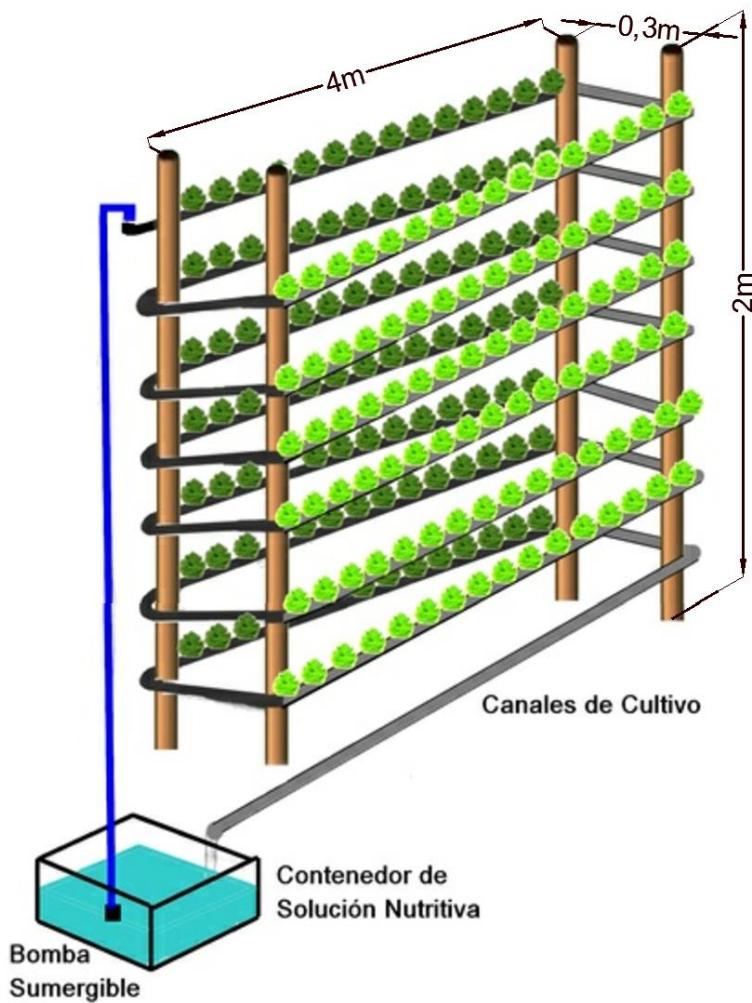
Figura N° 3.2
Sustancia nutritiva Phostrogen



(Más antecedentes en anexo 6 (6.4))

3.3) Parámetros de plantación

- Se requiere regar una plantación de 200 lechugas las cuales estarán distribuidas, cada 25 (cm), en 13 tuberías de PVC, de 4(m) de largo y 4 pulgadas de diámetro.
- El área total cultivable será de 14,4 (m^2) dispuestos verticalmente, siendo el espacio de superficie de 1,2 (m^2)
- Se utilizará bomba sumergible para el conjunto de serpentines de producción.
- La bomba para el circuito deberá proporcionar un caudal de 2,5 ($\frac{l}{min}$) en forma intermitente, que requiere el cultivo, según indicaciones de riego hidropónico. En consecuencia, la bomba debe operar 15 minutos en cada hora del día.

**Figura N° 3.3**

Esquema del Diseño de Cultivo Hidropónico Vertical.

Fuente: Elaboración propia.

3.4) Selección de bomba para el circuito.

-Caudal 2,5 ($\frac{l}{min}$) en el sistema.

-Distancia entre planta: 25 (cm).

$$\text{Caudal total del sistema. } Q_{\text{total}} = 2,5 \left(\frac{l}{min} \right) = 0,416 \cdot 10^{-4} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

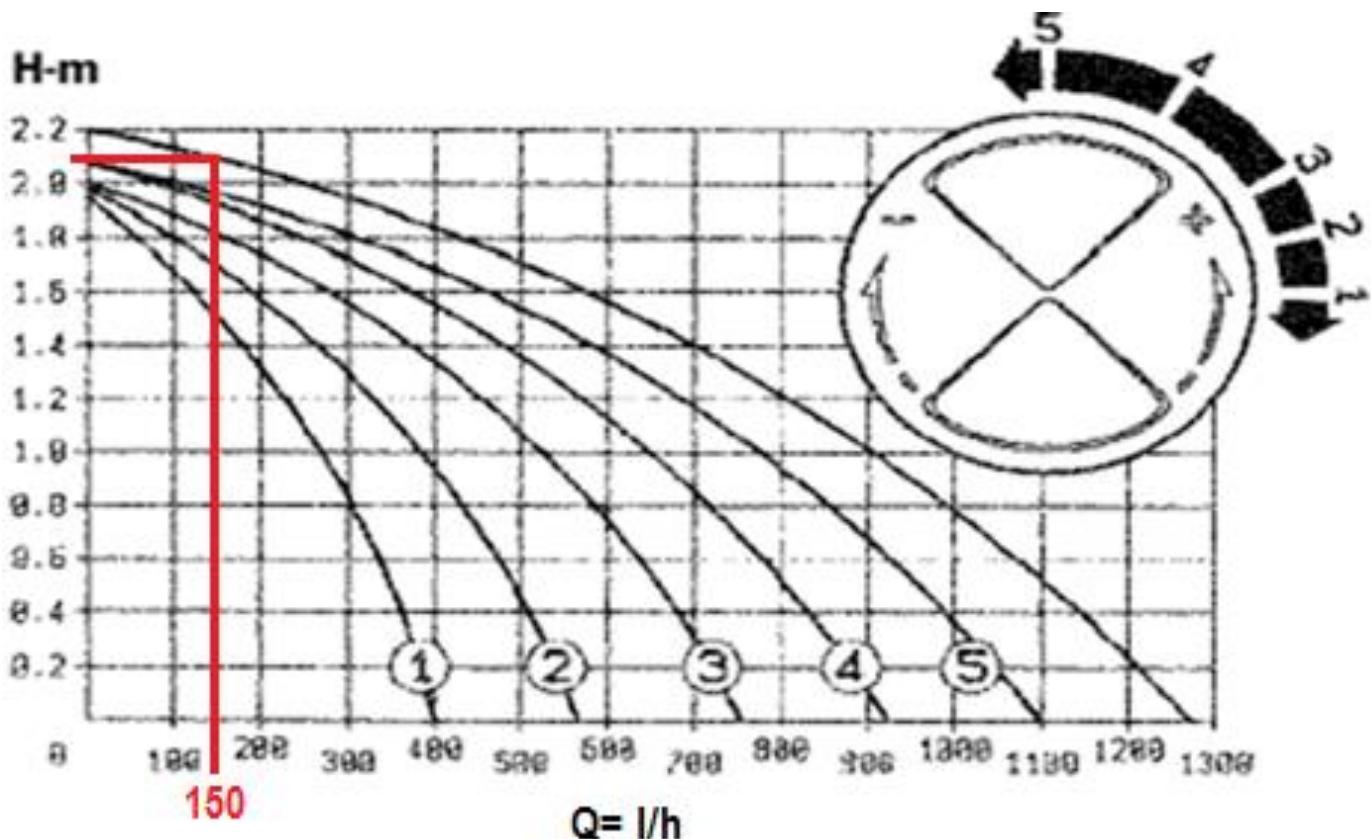
La bomba es de baja potencia ya que se necesita que el flujo del líquido sea constante y de baja velocidad, para que los nutrientes sean absorbidos por las plantas, además todas las líneas de distribución cuentan con una pendiente de 2%, esto ayuda a que el fluido circule por el efecto de la gravedad y sin sumar cargas al sistema de bombeo.

Se buscó una bomba de acuerdo a las necesidades, de baja potencia y de caudal regulable. Se encontró que la que mejor se ajusta a las necesidades es la bomba sumergible para fuente de agua y jardines.

La bomba seleccionada es: Bomba Sumergible Pileta Idra de 22 Watt

(Más antecedentes en anexo 6 (6.5))

Gráfico 3.1
Curva Característica de la Bomba



CAPITULO 4

EVALUACION ECONOMICA

4.1) Consideraciones Generales.

Para incorporar una de estas técnicas de cultivo como una alternativa productiva de especies hortícolas, primeramente se deberá conocer el valor de inversión requerido, los costos operacionales de producción y la utilidad de la unidad productiva, lo que permitirá evaluar la factibilidad de obtención de utilidades al corto y mediano plazo.

No se pretende efectuar una evaluación económica completa sino entregar a título de ejemplo, un cálculo de la inversión requerida y de las utilidades a obtener de una unidad productiva mínima. Para ello se hacen las siguientes consideraciones:

- 4.1.1) Se cuenta con el terreno e invernadero propio, el cual posee acceso libre y sin costo al recurso agua.
- 4.1.2). La energía eléctrica es obtenida directamente de la red de la CGE.
- 4.1.3) Se ha asumido, que se cultivará lechuga del tipo "ollo bionda" y se establecerán 200 plantas por cada período productivo en ambos sistemas.
- 4.1.4). Se estima que en un gramo de semillas de lechuga hay aproximadamente 800 semillas. Por otro lado los sobres con semillas que se encuentran en el comercio poseen 5 gramos de semillas, por lo tanto con un sobre de 5 gramos se alcanza aproximadamente para 20 cosechas
- 4.1.5) Con el objetivo de simplificar el cálculo en este ejemplo, no se han considerado las amortizaciones del capital de trabajo durante la puesta en marcha

de la unidad productiva asimismo, no se ha considerado el costo alternativo del dinero.

4.1.6) En cuanto a la utilidad por ventas se ha investigado que el precio de venta al público en las ferias libres y en la vega monumental de Concepción en el mes de diciembre del año 2014 varía entre los 300 y 500 pesos la unidad, lo cual nos da una idea de lo que el consumidor puede llegar a pagar si se vende directamente como microempresa.

Bajo esta lógica se puede fijar el precio del producto a \$ 500 la unidad.

4.2) Sistema de riego por goteo.

En el sistema de riego por goteo se plantea obtener un periodo de cultivo promedio desde la siembra hasta la cosecha entre 50 a 85 días según indicaciones de la ANASAC (Agrícola Nacional S.A.C) por lo que se espera obtener aproximadamente de 4 a 5 Cosechas anuales.

Para establecer una unidad de riego por goteo es necesario considerar los costos de los elementos que componen el sistema, los cuales fueron cotizados y dieron un valor total de: \$ 625.759 (**Más antecedentes en anexo 7 (7.2)**)

Se estima un 5 (%) de pérdidas lo que resulta en 190 plantas aptas para la venta por cosecha, lo que permite obtener un ingreso total de \$95.000 por periodo de cultivo.

Se estima tener según el método de cultivo con riego por goteo, en el peor de los casos 4 cultivos anuales lo cual genera un ingreso por venta anual de \$ 380.000.

Tabla N° 4.1
Costos operacionales anuales del riego por goteo

Costos operacionales Anuales del riego por Goteo			
Insumo	Cantidad requerida	Valor unitario	Valor total
Semillas	1 (gr)	\$ 1.390 (5 gr)	\$ 1.390
Fertilizantes	250 (gr)	\$ 3.790 (250 gr)	\$ 3.790
Mano de obra (propia)	91,25(h)	\$ 5000 (h)	-----
Energía Eléctrica	11 (KWh)	120 (\$/KWh)	\$ 1425
	Total		\$ 6.605

Fuente: Elaboración Propia.

Luego la utilidad anual desde el segundo año en adelante será de:

Utilidad = ingreso total- costo total inversión

Utilidad = $380.000 - 6.605$

Utilidad = \$ 373.395 pesos.

Se observa que se recupera la inversión dentro de un periodo de 2 cultivos esto es a los 6 meses

(Más antecedentes en anexo 7 (7.2.4))

4.3) Sistema de riego hidropónico.

En el sistema Hidropónico NFT Se planea obtener un período de cultivo promedio desde trasplante a cosecha de 35 a 40 días a lo largo del año, por lo que se espera obtener aproximadamente de 8 a 9 cosechas anuales.

Se trabajará con un sistema "NFT", de circulación de 15 minutos cada hora.

Para establecer una unidad cultivo hidropónico NFT es necesario considerar los costos de los elementos que componen el sistema, los cuales fueron cotizados y dieron un valor total de: \$ 881.708 (ver anexo 7 (7.3.3))

Se estima un 3 (%) de pérdidas lo que resulta en 194 plantas aptas para la venta por cosecha, lo que permite obtener un ingreso total de \$116.400 por periodo de cultivo.

Se estima tener según el método de cultivo Hidropónico NFT en el peor de los casos 8 cultivos anuales lo cual da un ingreso por venta anual de \$ 931.200.

Tabla 4.2
Costos operacionales anuales del riego hidropónico.

Costo Operacional de producción del Riego hidropónico.			
Insumo	Cantidad requerida	Valor unitario	Valor total
Semillas	1 (gr)	\$ 1.390 (5 gr)	\$ 1.390
Fertilizantes	250 (gr)	\$ 3.790 (250 gr)	\$ 3.790
Mano de obra (propia)	91,25 (h)	\$ 5000 (h)	---
Energía eléctrica	8 (kWh)	120 (\$/kWh)	\$ 960
	Total		\$ 6.140

Fuente: Elaboración Propia

Luego la utilidad anual desde el segundo año en adelante será de:

Utilidad = ingreso total- costo operacional

Utilidad = \$ 931.200 – \$ 6.140

Utilidad = \$ 924.860 pesos.

Se observa que se recupera la inversión dentro de un periodo de dos cultivos esto es a los 3 meses.

(Más antecedentes en anexo 7 (7.3.2))

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

La práctica del riego constituye uno de los factores más importantes para el incremento de la producción y el desarrollo de la agricultura en la región, permitiendo una mejor utilización de agua, controlar los fertilizantes a utilizar y reducir los costos asociados.

Se considera haber reunido conocimientos fundamentales de los tipos de riego y cultivo, donde se analizó sus componentes, ventajas y desventajas de cada uno obteniendo resultados claros y determinantes a la hora de optar por alguno de ellos.

En el desarrollo del trabajo se consideraron factores agronómicos importantes a la hora de comparar los sistemas donde se consideró la producción, lugar geográfico, clima y tipo de hortaliza, esto lleva a determinar la cantidad de agua requerida para el cultivo en los diferentes sistemas de riego.

Respecto al sistema de riego por goteo se puede concluir que:

- Es un sistema de riego eficiente con respecto a los convencionales, ya que al suministrar el agua de gota en gota se optimiza de mejor forma el recurso hídrico, sin inundar todo el suelo.
- Se obtuvo el caudal requerido por las plantas considerando parámetros agrícolas como la evotranspiración, tiempo de riego, etc. además de parámetros referidos a la plantación como separación entre plantas e hileras.
- Se considera que el costo por consumo de agua disminuye con respecto a riegos tradicionales ya que, en este estudio, el fluido llega a los goteros por gravedad desde el estanque, por lo tanto no necesita de una bomba impulsora para el sistema en el tramo desde el estanque a los goteros.

- El diseño realizado cumple con las demandas hídricas de la lechuga, entregando el caudal necesario, esto respaldado con los cálculos hidráulicos respecto a los agronómicos.
- En el riego por goteo se realiza una mayor mantención en el equipo ya que los goteros pueden presentar obturaciones.

Respecto a sistema de cultivo hidropónico NFT se concluye:

- El recurso hídrico es utilizado de una mejor forma al ser reutilizado por el sistema manteniéndose un ciclo en el equipo.
- Disminuyen a casi nulas las enfermedades por plagas al estar lejos del suelo, lo cual lleva a un ahorro al agricultor.
- Es un sistema que su inversión inicial es alta pero que en el tiempo es altamente rentable.
- Para el sistema de funcionamiento del equipo se necesitan dos bombas una para la extracción y la otra para la circulación del agua, esto puede generar una desconfianza técnica y económica para el agricultor.
- El caudal en el sistema es constante y de bajo flujo manteniendo una regularidad en el consumo hídrico de la hortaliza.
- El éxito de la producción hidropónica depende más del conocimiento del manejo hortícola (siembra, riegos, control de plagas y enfermedades, etc.) que del conocimiento de la técnica en sí, esto es un punto en contra debido a que no existe un conocimiento claro sobre el tema entre los agricultores

Los resultados del estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo se resumen en la tabla 5.1

Tabla 5.1

Resumen de resultados del estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo, para un cultivo de 200 lechugas.

Parámetro	Riego por Goteo	Riego Hidropónico
Tiempo de cultivo a cosecha	80 días	40 días
Cantidad de agua requerida (por periodo de cultivo)	19,2 (m^3)	2,76 (m^3)
Consumo anual de energía eléctrica	108 (kWh)	8,77 (kWh)
Costo de inversión	\$ 625.759	\$ 881.708
Costo de operación anual	\$ 13.068	\$ 6.233
Ingresos por cosechas anuales	\$ 380.000	\$ 924.966
Tiempo de recuperación la inversión	6 meses	3 meses
Superficie utilizada en plantación.	24 (m^2)	1,2 (m^2)

Fuente: elaboración propia.

Como conclusión general y observando los resultados obtenidos en el diseño, consumo hídrico, costos de inversión, energía eléctrica y demás datos entregados en la tabla comparativa, se puede observar que el sistema de cultivo hidropónico NFT es superior al riego por goteo en cuanto a:

- Un mejor aprovechamiento del recurso hídrico debido a que no existen pérdidas.
- Mayor ahorro energético debido a que las bomba de extracción de agua desde la puntera está en funcionamiento solo 3 minutos y medio cada día.
- El cultivo en sistema Hidropónico posee un tiempo por ciclo de cultivo menor al sistema con riego por goteo lo cual permite tener mayor cantidad de cosechas anuales.
- A pesar que la inversión inicial de implementación del sistema NFT es mayor ésta se recupera en un tiempo menor que en el caso de implementar un riego por goteo.
- Menor espacio de superficie a utilizar, aun cuando se cultiva la misma cantidad de hortalizas.

Es importante señalar que la instalación de bombeo de la puntera está trabajando a un nivel mínimo, por lo cual es factible instalar una mayor capacidad de producción o darle otro uso dentro del mismo predio agrícola.

Si bien la bomba seleccionada está muy sobredimensionada, ambos sistemas requieren el mismo sistema de extracción desde la puntera al cultivo, por lo tanto, los costos asociados no hacen diferencias significativas en la comparación económica. Desde otro punto de vista al implementar un proyecto de esta naturaleza, a mínimo costo, existe la posibilidad de prescindir del uso de esta bomba, reemplazando con un sistema manual.

Por último se puede agregar que es necesario llevar el conocimiento de nuevos sistema de cultivo a los agricultores debido al beneficio social que se obtiene como producto del cambio de las condiciones de vida de las familias, considerando una mejor calidad de la alimentación, la protección de la salud y la obtención de mayores ingresos en comparación a sistemas tradicionales.

Bibliografía:

- (1) Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola,- Universidad de Concepción.
- (2) Diseño de sistema de riego por goteo - Seminario de título Italo Marcelo Méndez Hernández 2001.
- (3) Boletín Técnico N°1 Necesidades de agua de los cultivos Realizado por: Departamento de Recursos.
- (4) Sistema de riego Gurovich, Luis A.
- (5) El riego y sus tecnologías Luis Santos Pereira (Instituto Superior de agronomía), - Universidad técnica de Lisboa.
- (6) Evotranspiración del cultivo -(Richard G. Allen Utah State University) - FAO.
- (7) El riego en Horticultura Guía para la instalación de pequeños sistemas de riego- Eduardo Villafáfila - Fabio Wyss (INTA)
- (8) Manual de Diseño de Sistemas de Riego Tecnificado - Trabajo de titulación Ing. Mecánico Leonardo Gaete Vergara 2001 Universidad de Talca.
- (10) Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego - Julia Carrazón Alocén Ing. Agrónomo.
- (11) Manual Técnico: La empresa Hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT) - Gilda Carrasco, Ph. D.

Profesor, Escuela de Agronomía Universidad de Talca, Chile. Juan Izquierdo, Ph. D.Oficial Regional de Producción Vegetal Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.

- (12) Cambios territoriales y tecnológicos en el riego agrícola en Chile entre los años 1997 y 2007 - ODEPA Ministerio de Agricultura.
- (13) Riego por goteo – Alirio Edmundo Mendoza.- (CENTA Centro nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal).
- (14) Información Hortícola, publicación especial 2008-2009 Instituto Nacional de Estadísticas Raúl Olivares Arenas Isnelia Quintana Urrutia Gobierno de Chile Oficina de estudios y políticas agrarias.
- (15) El cultivo de la lechuga Biblioteca Técnica servicios y almácigos S.A la serena Chile.
- (16) Resultados y Lecciones en Prevención de Enfermedades de la Lechuga.

Linkografía:

- (1) <http://www.plasgot.com/INDEX.HTM>
- (2) <http://sealing.cl/bombahttp://www.hydroenv.com.mx/s-para-pozo/690-sumergible-pedrollo-4blockm-4-9.html>
- (3) <http://www.jardisen.cl/>
- (4) <http://riegopaloalto.cl/index.php/insumos/valvulas/bola/valvula-de-bola-20mm-cem.-73-74-detail>
- (5) <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/496723/12%22x10-m-Caneria-polietileno-color=&passedNavAction=push>
- (6) <http://www.jardisen.cl/parts/lechugas.html>
- (7) <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/120209X/Semilla-Lechuga--5-gramos?color=&passedNavAction=>
- (8) <http://www.anasacjardin.cl/producto/semillas-de-hortalizas/semillas-de-lechuga-milanesa/>
- (9) <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/120209X/Semilla-Lechuga--5-gramos?color=&passedNavAction=>
- (10)<http://www.jardisen.cl/parts/hidroponia.html>
- (11) <http://riegopaloalto.cl/index.php/insumos/valvulas/bola/valvula-de-bola-20mm-cem.-73-74-detail>

ANEXOS

ANEXO 1

SISTEMAS DE RIEGO EN AGRICULTURA

1.1) Definición y objetivos del riego.

En términos generales, este consiste en la aplicación artificial del agua al terreno para que las plantas (cultivos) puedan satisfacer la demanda de humedad necesaria para su desarrollo.

Objetivos del riego:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos se desarrollen.
- Proporcionar nutrientes en disolución.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Disolver las sales contenidas en el suelo.
- Reducir el contenido de sales de un suelo existiendo un adecuado drenaje.

1.2) Sistemas y métodos de riego.

Cuando se habla del riego en general, se dice que el problema principal por plantearse es el cuándo, cuánto y cómo regar. Todo esto con el fin de hacer un aprovechamiento integral del agua para que sea aplicada en oportunidad y con la mayor eficiencia posible, obteniendo el máximo de rendimiento en la producción.

Una definición muy acertada de los sistemas de riego del año 1985 es: El sistema de riego, es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego.

Los sistemas que integran un riego son:

- fuente de regadío (río, pozos, punteras, presas, etc...)
- Canal principal o tubería
- Canales de distribución o tuberías (primario, secundario...)
- Las obras hidrotecnicas del sistema de riego (compuertas, válvulas, medidores, etc...)

- Instalaciones adecuadas para garantizar el riego durante todo el ciclo.
- Red de drenaje destinada a evacuar excedentes de agua.

Los métodos de riego pueden ser considerados como la forma en que el riego es aplicado al suelo para el desarrollo de los cultivos. Estos pueden ser:

- 1.2.1) Riego por superficie
- 1.2.2) Riego por aspersión.
- 1.2.3) Riego localizado.
- 1.2.4) Cultivo Hidropónico.

A continuación se presenta una clasificación de los métodos ilustrados con algunos tipos en los que estos pueden dividirse:

1.2.1) Riego por superficie:

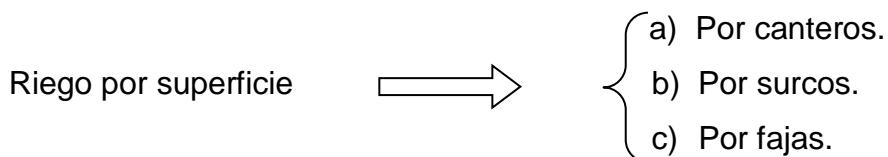
El riego por superficie es el método de riego más antiguo. Agricultores de Egipto, China, India y países de Oriente Medio se sabe que regaban sus tierras, mediante riego por superficie, hace más de 4.000 años y es el método que actualmente continua teniendo gran importancia tanto económica y técnicamente, ya que corresponde aproximadamente al 80 (%) de las áreas regadas en el mundo demostrando así que continua siendo el más apropiado para suelos llanos y planos.

Este sistema consiste en conducir una corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo, el cual actúa como sistema de distribución dentro de la parcela, hasta llegar a todos los puntos de ella, donde el agua puede llegar por medio de cualquier sistema de distribución, bien por tuberías (normalmente a baja presión) o por una red de canales y acequias donde el agua circula por gravedad. La característica principal del riego de superficie es que el propio suelo es el sistema de distribución del agua y se dispone de surcos o caballones para el escurrimiento en el suelo. Es decir, no es necesario disponer de complejas estructuras de distribución de agua (como las tuberías de los sistemas de aspersión o goteo) cubriendo la parcela a regar.

Una ventaja económica frente a los sistemas a presión es que el agricultor no ha de amortizar costosos equipos ni necesita bombear el agua por encima del nivel de la parcela.

Es el método de riego menos costoso en instalación y mantenimiento, y una vez que el agua llega a la parcela no existe costo en la aplicación del agua.

En cuanto a su desventaja es el sistema de riego que utiliza el agua de forma menos eficiente, aun cuando se realiza un adecuado diseño y manejo de los riegos y tiene elevadas necesidades de mano de obra, disminuciones en la producción o baja eficiencia en el uso del agua.



Los sistemas de riego por superficie o por gravedad son muchos, en correspondencia con los procesos de aplicación del agua a las parcelas regadas. Estos se resumen esencialmente a los sistemas de surcos, canteros, fajas, surcos a nivel y riego de esparcimiento.

A continuación se describirán los tres riegos de mayor importancia en la técnica de superficie.

a) Riego por cantero:

Consiste en aplicar agua a parcelas generalmente rectangulares, con pendiente casi nula, circundadas por lomos, caballones o albardillas que impiden que el agua pase a otros campos. Los canteros pueden ser utilizados para el riego de arroz por inundación permanente incluyendo frutales por inundación temporal.



Figuras N° 1.1
Riego por cantero

b) *Riego por surcos:*

En este sistema el agua corre lentamente y se infiltra a través de los surcos, los cuales son pequeños canales abiertos regularmente equidistantes. Los surcos deben tener pendiente suave y uniforme y ser alimentados por pequeños caudales para que la mayor parte del agua que escurre se infiltre uniformemente por la parcela. Este sistema se aplica principalmente para cultivos en línea estando sembrado o plantado como ejemplo en el trigo y la cebada.



Figura N° 1.2
Riego por surcos

c) *Riego por fajas:*

En este sistema la parcela se divide por fajas o sea en parcelas rectangulares estrechas y largas con pendiente suave donde el agua se aplica y escurre a lo largo de su recorrido al mismo tiempo que se va infiltrando. Este método es poco usado y se usa para cultivos densos tales como cereales, forrajes y prados así como también para frutales y viñas.



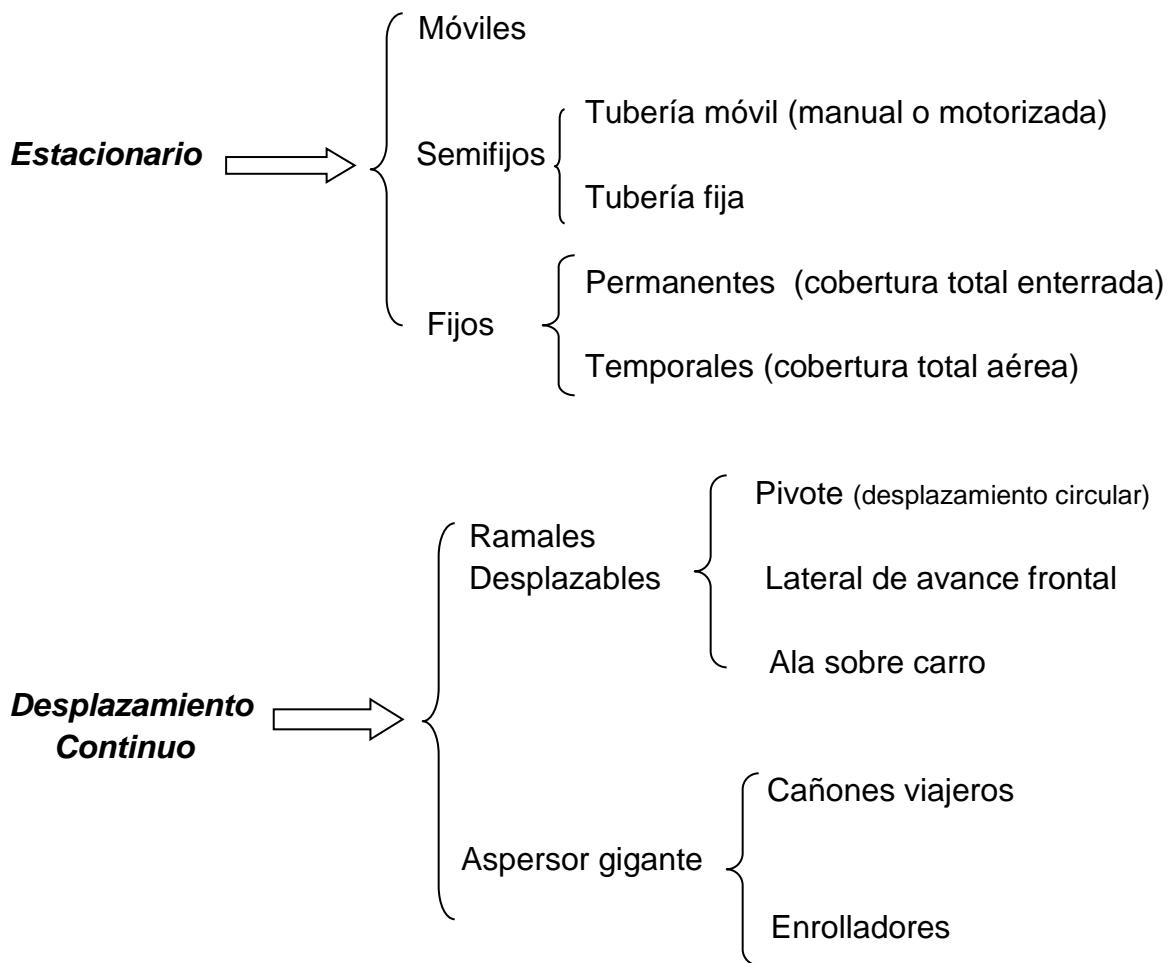
Figura N° 1.3
Riego por fajas

1.2.2) Riego Por Aspersión:

Este método de riego implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en el ramal induce un caudal de salida. La diferencia entre ambos métodos radica en la magnitud de la presión y en la geometría del emisor.

Los sistemas de riego por aspersión se pueden, generalmente, dividir en sistemas estacionarios y móviles.

Clasificación de los sistemas de aspersión:



Aspersores:

Los Aspersores son dispositivos que aplican el agua sobre el suelo y los cultivos en forma de gotas pequeñas, imitando la lluvia, y que constituyen los elementos principales en el diseño de los sistemas de riego y en la calidad de su funcionamiento.

Los aspersores pueden ser clasificados como:

- Aspersores rotativos de impacto: Son los más utilizados en los que el giro es producido por el impacto del chorro sobre una pala oscilante
- Aspersores rotativos de turbina: la rotación se debe al accionamiento de una pequeña turbina instalada en el mismo aspersor. Su uso en agricultura es escaso, al contrario de lo que pasa en el riego de jardines, campos de golf y otros espacios verdes.
- Aspersores estáticos: Son muy populares en los laterales móviles porque requieren una presión muy baja; el agua se dispersa en círculo al chocar el chorro contra una placa
- Tubos perforados: Consistentes en una tubería con pequeños orificios colocados longitudinalmente y por los cuales el agua sale en pequeños chorros
- Cañones móviles: Se denominan cañones a los grandes aspersores rotativos que funcionan con alta o, muy baja presión, para regar grandes superficies.



Figura N° 1.4
Aspersores de Impacto



Figura N° 1.5
Aspersores rotativos de turbina



Figura N° 1.6
Difusores estaticos



Figura N° 1.7
Tubos perforados



Figura N° 1.8
Cañón móvil

Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.

- i. **Ventajas:** El sistema de riego por aspersión imita al agua de lluvia, con lo cual la calidad de la entrega (en pequeñas gotas) y el ahorro de agua son muy superiores a lo que se logra con el aniego o la distribución por surcos. En dependencia del sistema que se utilice es apropiado para campos pequeños y grandes. Es un sistema más conveniente que el de riego localizado para la aplicación con el agua de fertilizantes, pesticidas y otros productos.
- ii. **Desventajas.** Se requiere de componentes caros (bomba hidráulica de alta presión, tuberías, aspersores y de otros mecanismos y piezas). Es necesario un constante cuidado de la estabilidad de las presiones, del caudal de entrega en las boquillas aspersoras, así como limpiar los aspersores cuando se tupen. En la aspersión son altas las pérdidas de agua por evaporación. La constante humedad del ambiente favorece las enfermedades foliares. Todos los sistemas de aspersión a alta presión contribuyen a la compactación del suelo por la fuerza del impacto directo del agua sobre éste.

1.2.3) Riego Localizado

El riego localizado consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo este, utilizando tuberías a presión y diversos tipos de emisores de manera que solo se moja una parte o un sector del suelo.

La aplicación del agua en el riego localizado, a semejanza del riego por aspersión, exige una red de tuberías principales, secundarias y terciarias, y rémales porta emisores; normalmente, enterradas, a excepción de los ramales. Los dispositivos a partir de los cuales se aplica el agua al suelo, y en la zona radicular, se denominan emisores, los cuales se colocan equidistantes en el lateral, o por grupos en el caso de algunos cultivos la aplicación puede ser directamente en la zona de raíces en intervalos de tiempo o en sectores focalizados, de acuerdo con las necesidades hídricas de los cultivos y con la capacidad de retención de humedad del suelo.

Dentro del riego localizado existen variantes las cuales se agrupan en cuatro categorías y dependiendo del cultivo se aplica el más apropiado.

- Tipos de riego localizado:
 - Riego localizado → {
 - Riego por goteo
 - Micro aspersión
 - Riego a chorros
 - Riego subsuperficial

Riego por goteo

El Sistema de riego por goteo es un sistema mecanizado, a presión que permite aplicar agua gota por gota sobre la superficie del suelo en el que se desarrolla el sistema radicular del cultivo, se produce humedecimiento limitado y localizado. El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

Microaspersión

En este sistema el agua se pulveriza sobre la superficie del suelo, como en aspersión, pero en aéreas pequeñas y localizadas de 1 a 5 (*m*) de diámetro,

siendo los emisores, en general, de caudales de 50 a 150 ($\frac{L}{h}$), denominados micro aspersores, al tener algún elemento móvil.

Riego a chorros

Este sistema en el que pequeños chorros de agua se aplican a pequeñas balsillas a ras del suelo, adyacentes a cada árbol o planta de una parcela, recurriendo a emisores especiales, designados difusores que impulsan el agua.

Riego Subsuperficial

Este método en el que el agua se aplica a través de emisores integrados en ramales colocados por debajo de la superficie del suelo, normalmente, toda la red de tuberías enterradas, como alternativa, el agua puede ser aplicada mediante tubos porosos, pero esta variante tecnológica tiende a ser sustituida por tubos de doble cámara con orificios.

1.2.4) Cultivo Hidropónico

El cultivo hidropónico es una técnica de producción agrícola donde se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución líquida.

Este tipo de cultivo que a su vez es un sistema de riego, que si se agrega en un grupo, estaría bien en el riego localizado, se realiza en recipientes donde se colocan nutrientes del tipo lana de roca, arena, fibra de coco, perlita y demás sustancias específicas que se adquieren en comercios especializados, capaces de portar los alimentos que cada planta necesita. El elemento principal en este sistema de cultivo es el agua, por eso lo más importante es procurar un sistema de riego adecuado.

Las ventajas obtenidas por este método de cultivo son la rapidez en el crecimiento y maduración de la planta, pudiéndose acortar los ciclos en un 60 (%) respecto a

los de la misma planta en su entorno natural. Se emplea de manera frecuente para uso comercial, en el cultivo del tomate, la lechuga y una gran variedad de vegetales.



Figura N° 1.9
Cultivo Hidropónico.

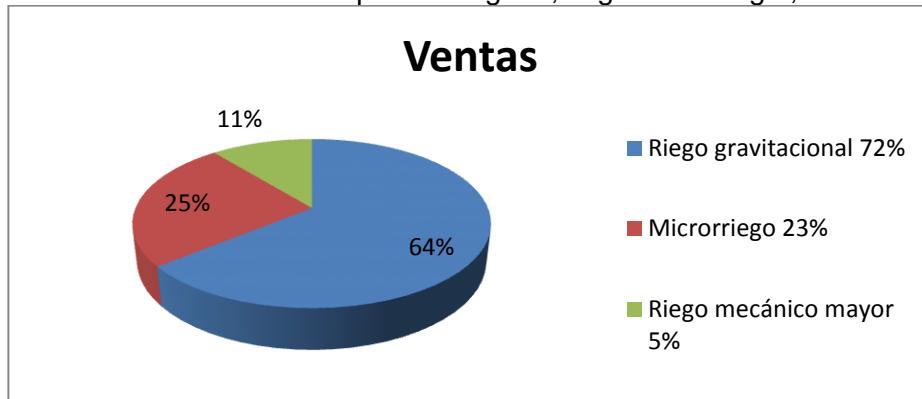
1.3) Tecnología de riego en chile utilizada en la agricultura.

La actividad agrícola se desarrolla principalmente en la zona central del país, entre las regiones de Atacama y del Bío Bío incluyendo la región Metropolitana, estas zonas concentran el 92 (%) de la superficie regada, y son las grandes abastecedoras del país.

La necesidad de optimizar el uso de los recursos hídricos y disminuir los costos energéticos obliga hoy a modernizar los sistemas de riego aumentando la innovación y la inversión en la agricultura.

En relación a los antecedentes obtenidos, se han producido avances importantes dentro de los sistemas de riego pero que aún son la minoría, el riego por superficie es el gran dominante en el país ya que su bajo costo lo hace más fácil de implementar. En el siguiente gráfico del censo nacional del 2007 muestra la distribución de la superficie regada.

Gráfico N° 1.1
Distribución de la superficie regada, según tecnología, 2007



Fuente: Odepa, sobre la base del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2001, INE - Odepa

A pesar del incremento en la superficie regada con mayor incorporación de tecnología, el riego tradicional sigue dominando en el país con el 72% de superficie. Tal como se señala en el gráfico 1.1.

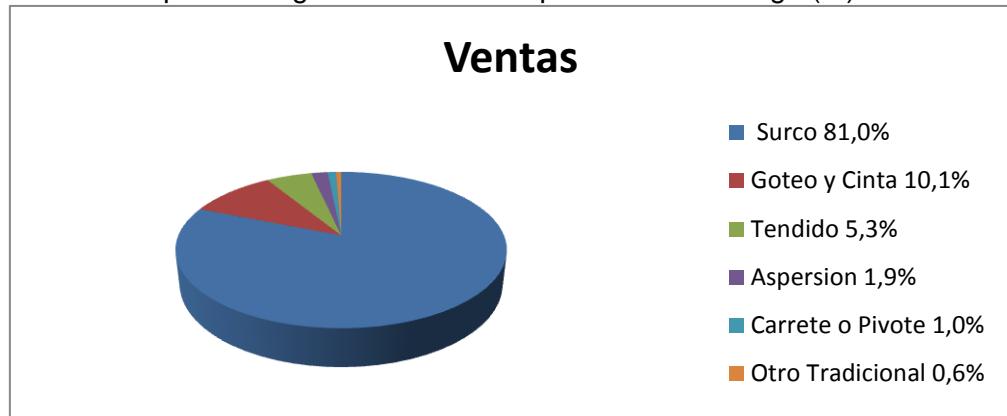
En el periodo 2008 a 2009 las variaciones no son tan diferentes pero si el riego por superficie aumenta y en otras se ve un aumento considerable.

Tabla N° 1.1
Estadísticas de la superficie regada de hortalizas
Según año 2008 / 2009

Método de riego	% de la superficie
Aspersión	1,9
Carrete o Pivote	1,0
Goteo y Cinta	10,1
Microaspercion	0,0
Otro Tradicional	0,6
Surco	81,0
Tendido	5,3

Fuente: Odepa, sobre la base del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2001, INE - Odepa

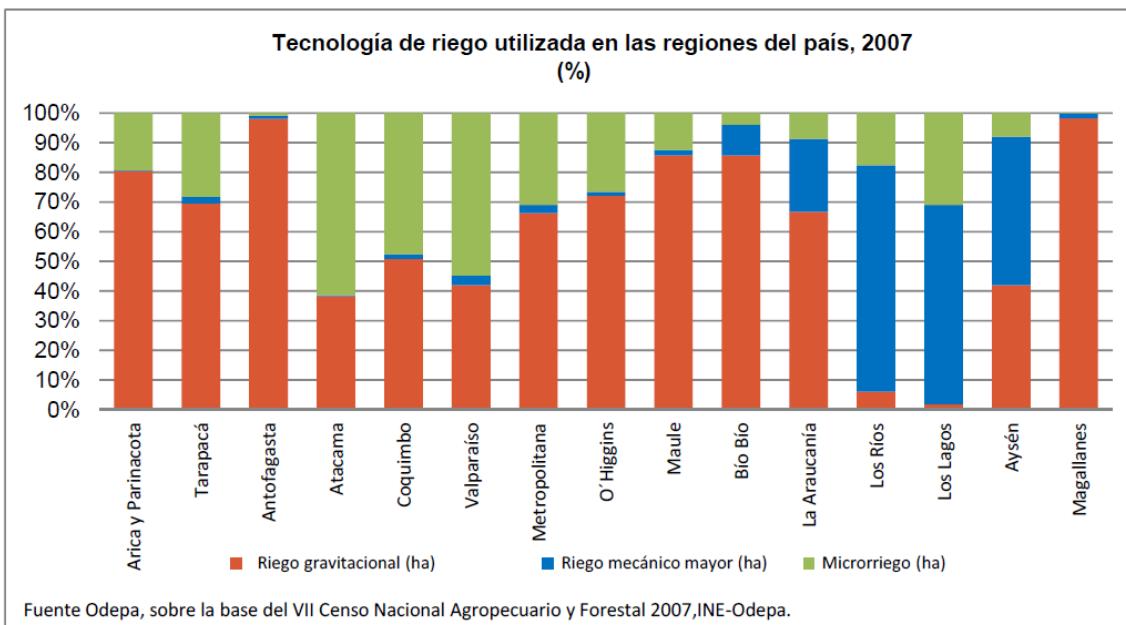
Grafico N° 1.2
Superficie regada de hortalizas por método de riego (%)



Fuente: Odepa, sobre la base del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2001, INE - Odepa

Sin embargo, es interesante destacar las profundas variaciones que se expresan en la tecnología de riego de las distintas regiones del país. Como se observa en el grafico 1.2 es posible encontrar tres patrones claros del tipo de riego utilizado en nuestro país.

Grafico N° 1.3
Tecnología de riego utilizada en las regiones del país año 2007.



Fuente Odepa, sobre la base del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007, INE-Odepa.

En primer lugar, las superficies regionales con mayores persistencias en el riego gravitacional o por surco se encuentran en las regiones en que domina la agricultura tradicional, mayoritariamente en aquellas en que se encuentran cultivos que sustituyen importaciones.

En la región del Bío Bío el riego predominante es por gravedad con mayor a un 80 (%) de superficie, esto dice que aun cuando el aumento de las tecnologías avanza a grandes pasos, el riego por superficie es el más implementado, presuntamente por el bajo costo comparado con los demás y a la falta de conocimiento por parte de los agricultores que ven con temor el avance de nuevas tecnologías.

Visto los diferentes sistemas de riego utilizados en la agricultura en general y la evolución de los sistemas de regadío en nuestro país, se observa que el riego por goteo es la mejor y más eficiente alternativa para la agricultura ya que dosifica la cantidad de agua en cada planta evitando así el desperdicio del riego por surco como también la pérdida de agua debido al viento en el sistema por aspersión.

Aun cuando parece ser la mejor opción nace la necesidad de estudiar y aplicar el sistema de cultivo hidropónico para comparar este nuevo sistema con el de riego por goteo y así conocer cuál de los dos es más eficiente y cual le entrega más beneficios a la agricultura.

Para lograr una comparación de ambos sistemas es necesario definir ciertos parámetros constantes que nos permitan tener igualdad de condiciones en ambos sistemas de cultivo tales parámetros son: el clima, la cantidad de plantas y los fertilizantes.

El problema del clima se resolverá instalando un invernadero que es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.

El invernadero a estudiar será de 12 (*m*) de largo por 4 (*m*) de ancho y 2,3 (*m*) de alto el cual será cubierto por polietileno de 0,2 (*mm*) de espesor y estará ubicado en la parcela Santa Mónica en quebrada las Ulloas comuna de Florida, octava región del BIO BIO.

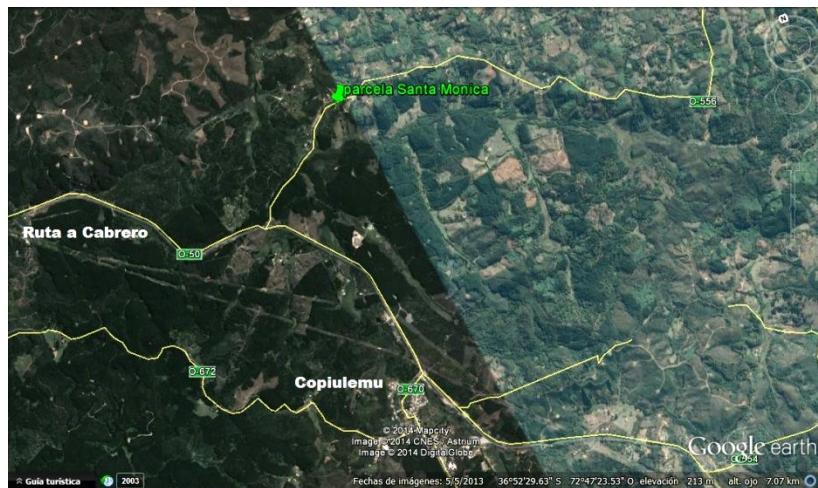


Figura N° 1.10
Plano de ubicación
Fuente: Google Maps

El recurso Hídrico para el invernadero de estudio, será obtenido de aguas subterráneas a través de una puntera ubicada en el predio, la cual bombea el agua hasta un estanque. Asegurando así la disponibilidad del recurso para su utilización.

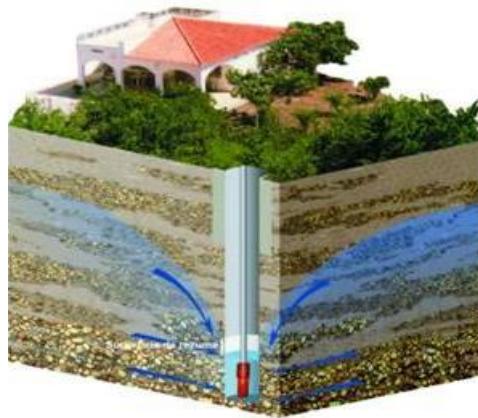


Figura N° 1.11
Captación de Agua Subterránea Mediante Punteras
Fuente: termodomodo.com

ANEXO 2

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO A CULTIVAR: LECHUGA

2.1) Definición del producto

Lechuga, *Lactuca sativa*. La lechuga pertenece a la familia Asteraceae o Compuesitae, y es originaria del Asia menor. Es la planta más importante dentro de las hortalizas de hoja, con el fin de consumo, siendo ampliamente cultivada en todo el mundo en numerosas variedades y siendo la más importante de las hortalizas de hojas en Chile. Existen grupos definidos:

- Lechugas de hojas o amarras (*capitata Janchen*), como la Milanesa, Francesa, Española.
- Lechugas Great Lakes o Batavias son repolladas o de cabeza, las hay de hojas crespa llamadas en Chile como Escarola.
- Lechugas Cos o romanas, como Conconina, Corsica, Lita, Green Tower.
- Lechugas de cortar.
- Lollo Rossa.(hidropónica)
- Variedad Marina.(hidropónica)

2.1.1) Descripción botánica

Es una planta herbácea anual, bianual y autogama (se autopolinizan) que contiene un 94 (%) de agua. La raíz de la lechuga, que no sobrepasa los 30 (cm) de profundidad es pivotante y con ramificaciones. Tienen un tallo corto y pequeño, sin embargo cuando existen altas temperaturas (mayor de 26 (°C)) y días largos (mayor de 12 horas) el tallo se alarga hasta 1,2 (m) de longitud.

2.1.2) Composición química de la lechuga

En el Cuadro se presenta el valor nutricional de la lechuga por cada 100 gramos de sustancia.

Tabla 2.1
Valor Nutricional de la Lechuga

**Valor nutricional de la lechuga en 100 g
de sustancia**

Carbohidratos (g)	20,1
Proteínas (g)	8,1
Grasas (g)	1,3
Calcio (g)	0,4
Fosforo (mg)	138,9
Vitamina C (mg)	125,7
Hierro (mg)	7,5
Niacina (mg)	1,3
Riboflavina (mg)	0,6
Tiamina (mg)	0,3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (cal)	18

Fuente: Biblioteca Técnica Servicios y Almácigos S.A La Serena, Chile.

2.1.3) Clima

Durante la fase de crecimiento la lechuga requiere temperaturas que oscilen entre los 14 y 18 (°C) por el día y 5 – 8 (°C) por la noche, en la etapa de germinación oscila entre 18 - 20° C. Cuando esta sufre temperaturas bajas durante un largo tiempo las hojas adquieren una coloración rojiza. El exceso de calor induce a la subida prematura a flor, lo que provoca un sabor amargo en las hojas.

2.1.4) Suelo y fertilización

Requiere de suelos francos ricos en materia orgánica y bien drenada.

En la fertilización es fundamental aportar materia orgánica ya que además de suministrarle nutrientes al suelo, se consigue mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológica. Una adecuada fertilización dependerá del pH del suelo (pH óptimo el cual se encuentra entre 6,7 y 7,4) si esta está muy acida se le aplicara una enmienda alcalina y aunque la lechuga se exige en nitrógeno, fosforo y potasio, también es importante agregarle calcio, magnesio ya que son esenciales para la fotosíntesis.

2.1.5) Semillero

Se recomienda el uso de bandejas de poliestireno de 294 alveolos, sembrando en cada alveolo una semilla a 5(*mm*) de profundidad. Transcurridos de 30 - 40 días después de la siembra, la lechuga será plantada cuando tenga unos 8 (*cm*) desde el cuello del tallo a las puntas de las hojas.

2.1.6) Enfermedades

Uno de los principales problemas que afecta a la lechuga en la zona central de Chile son los virus, donde se describen 20 distintos agentes que pueden afectar el cultivo entre ellos tenemos:

- Virus del mosaico.
- Virus de la avena ancha.
- Virus del mosaico de la alfalfa, del pepino.
- Virus del amarillamiento necrótico, infeccioso.
- Virus de la clorosis.



Figura 2.1

Síntomas de la enfermedad vena ancha de la lechuga.

Fuente: Prevención de enfermedades de lechuga Ministerio de Agricultura Chile

2.1.7) Plagas

Dentro de las más conocidas y de las cuales se han hecho más frecuentes en Chile y especialmente en la zona central del país son las siguientes:

- Larvas de lepidópteros comedores de hojas.
- Pulgones (*Myzus persicae*)
- Gusanos blancos.

- Gusanos alambres.
- Cuncunillas.
- Mosca blanca.



Figura 2.2

Plaga por pulgón.

Fuente: Prevención de enfermedades de lechuga, Ministerio de agricultura Chile.

2.2) Medidas de control y prevención de enfermedades

El control de las enfermedades virales solo se realiza adoptando medidas preventivas que incluyen la detección temprana del virus, la erradicación de plantas enfermas y la búsqueda de variedades resistentes. No existe posibilidad de uso agroquímico en el control directo de estas enfermedades. Dentro de las medidas del control de enfermedades se proponen estrategias relacionadas con aspectos varietales y de manejo del cultivo, como fertilizantes, riego y bioestimulantes de la especie.

A continuación se describen algunos de estos aspectos más importantes:

- Deficiencias agronómico del cultivo: La calidad de los almácigos, las malezas, la nutrición, etc... esto tiene incidencia directa en la calidad, rendimiento y sensibilidad a las enfermedades.
- Riego: La hoja de la lechuga tiene gran sensibilidad a deterioros, asfixias y a las formas del regadío las cuales están incidiendo en el cultivo perdiendo sensibilidad, manchándolas y pudriéndolas lo que tiene relación de auspiciar o reducir el transporte de hongos.
- Nutrición y bioestimulantes: Los niveles de nutrientes afectan al estado de la planta lo cual atrofia el crecimiento y hormonas del sistema vegetativo lo cual lo hace más susceptible a las enfermedades.

2.2.1) Factores fisiológicos causantes de deterioro en pos cosecha

- Respiración

La respiración constituye un aspecto basal del metabolismo, la capacidad de almacenamiento de las hortalizas ya cosechadas está influenciada por su tasa de respiración y por la actividad bioquímica.

- Transpiración

Es uno de los procesos que afecta el deterioro comercial de la lechuga. Esta desecación afecta incluso el sabor, además disminuyen su valor si la pérdida de agua excede en un 3 a 10 (%) del peso fresco, esto se puede observar en la marchitación de la hortaliza.

- Temperatura

Factor importante e invisible, que controla la actividad enzimática, respiratoria y metabólica. El control de la temperatura puede disminuir el deterioro, debido a que las bajas temperaturas disminuyen la actividad enzimática, reduce el ritmo, retarda la madurez y reduce el déficit de presión.

2.3) Perspectivas del mercado en Chile

En Chile la superficie plantada de lechuga alcanza 7356,7 hectáreas, es decir el 8,7(%) de la superficie nacional plantada con hortalizas (INE 2010), con una densidad promedio por hectárea de 50521 plantas. El rendimiento promedio nacional es de 42.880 unidades, obteniendo los mejores rendimientos las regiones O'Higgins, Maule y Bio Bio (INE 2010).

Las lechugas se transan durante todo el año, pero entre las diversas variedades presentan ciclos de producción que determinan una menor oferta entre otoño y fines de invierno, el volumen arribado para el 2009 llegó a 240 millones de unidades (ODEPA) el cual sigue aumentando ya que es la hortaliza más consumida en el país.

El cultivo es desarrollado principalmente por productores pequeños y medianos, observándose un elevado nivel de atomización a nivel de productores. Esto

dificulta programar los cultivos y las cosechas, lo que redunda en la aparición de períodos con alta o baja oferta, con inestabilidad en los precios y dificultades en la comercialización

El principal problema para pequeños agricultores, en cuanto al desarrollo de negocios de grandes volúmenes, se refiere a la poca seguridad en el cumplimiento de los programas de entrega. Ésta es tal vez la mayor dificultad que plantean los grandes poderes compradores, como los supermercados, a la hora de evaluar la posibilidad de comprar.

Un buen número de pequeños agricultores efectúa la venta de sus lechugas directamente en el predio a comerciantes intermediarios, a precios muy inferiores a los que finalmente se transan a nivel del consumidor.

En el futuro, con el aumento de la tecnología se contará con una mayor calidad de los cultivos, aumentando con ello las exportaciones y dando una seguridad a los compradores (supermercados).

ANEXO 3 RIEGO POR GOTEÓ

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de «riego gota a gota», es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y fertilizantes.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

Esta técnica es la innovación más importante en agricultura desde la invención de los aspersores en los años 1930.

Características

- Utilización de pequeños caudales a baja presión.

- Localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión (emisores o goteros).
- Al reducir el volumen de suelo mojado, y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con una alta frecuencia de aplicación, a caudales pequeños. Pero si el agua está a mucha presión subirá mejor hacia lugares de mayor altura.

Las principales Ventajas

El riego por goteo es un medio eficaz y pertinente de aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (mayoría de los cultivos hortícolas o bajo invernadero, viñedos) o en plantas (árboles) aisladas (vergeles). Este sistema de riego presenta diversas ventajas desde los puntos de vista agronómicos, técnicos y económicos, derivados de un uso más eficiente del agua y de la mano de obra. Además, permite utilizar caudales pequeños de agua.

- Una importante reducción de la evaporación del suelo, lo que trae una reducción significativa de las necesidades de agua al hacer un uso más eficiente gracias a la localización de las pequeñas salidas de agua, donde las plantas más las necesitan. No se puede hablar de una reducción en lo que se refiere a la transpiración del cultivo, ya que la cantidad de agua transpirada (eficiencia de transpiración) es una característica fisiológica de la especie.
- La posibilidad de automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.
- Se pueden utilizar aguas más salinas que en riego convencional, debido al mantenimiento de una humedad relativamente alta en la zona radical (bulbo húmedo).
- Una adaptación más fácil en terrenos rocosos o con fuertes pendientes.
- Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas

- Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego sin pérdidas por lixiviación con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo. (fertiriego)
- Permite el uso de aguas residuales ya que evita que se dispersen gotas con posibles patógenos en el aire.

Sus principales inconvenientes son:

- El coste elevado de la instalación. Se necesita una inversión elevada debida a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la casi necesidad de un sistema de control automatizado (electro-válvulas, programador). Sin embargo, el aumento relativo de coste con respecto a un sistema convencional no es prohibitivo.
- El alto riesgo de obturación (“clogging” en inglés) de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el principal problema en riego por goteo. Por ello en este sistema de riego es muy importante el sistema de filtración implantado, que dependerá de las características del agua utilizada. De hecho hay sistemas que funcionan con aguas residuales y aguas grises.
- La presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, debida a la acumulación preferencial en estas zonas de las sales. Esto puede constituir un inconveniente importante para la plantación siguiente, si las lluvias no son suficientes para lavar el suelo.
- Un inconveniente muy importante de este sistema tan particular, es el tapado de los orificios, por lo tanto no regarán como nosotros esperamos.

3.1) Componentes del sistema de riego por goteo

Una instalación de riego por goteo está compuesta de los siguientes elementos:

- Sistema de filtrado
- Sistema de inyección del fertilizante

- Red de distribución que conduce el agua desde el cabezal de control hasta las proximidades de la planta, está compuesta de tuberías principal, secundaria, terciaria y laterales o líneas porta goteros.
- Goteros
- Accesorios

El sistema de filtrado, el equipo de fertilización junto con los accesorios y válvulas correspondientes (válvulas de paso, medidores de agua, reguladores de presión), forman lo que se conoce como el cabezal de control cuya función es regular la presión del fluido, filtrar y controlar la cantidad de agua aplicada y dosificar de fertilizantes al cultivo.

El cabezal junto con el gotero, es la parte más importante del sistema, ya que de su calidad dependerá en gran parte el que se riegue en buena forma.

El principal problema que puede sufrir un equipo de riego por goteo es la obstrucción de los goteros, por lo tanto el filtrado del agua de riego es un requisito fundamental.

3.1.1) Sistemas de filtrado

Este sistema de filtrado está constituido por un conjunto de tratamientos y operaciones que se hacen para limpiar el agua de partículas extrañas.

Las mallas, depósitos de sedimentación, filtros porosos, depósitos de arena y grava, separadores centrífugos y diferentes tipos de tratamientos químicos comprenden dicho sistema. Normalmente una instalación lleva uno o varios de estos dispositivos según la calidad del agua.

3.1.2) Elementos de pre filtrado

Estos elementos realizan la primera limpieza del agua de riego, que en ocasiones es importante hacer. Estos están siempre colocados antes del cabezal de riego.

Se destacan los hidrociclos, filtros de arena, filtro de algas.

3.1.3) Filtro de Mallas

Este es el tipo de filtro más corriente y se utiliza para separar las partículas sólidas de mayor tamaño suspendidas en el agua. Estos filtros están formados por un cartucho y en el interior va uno o más cilindros concéntricos de mallas que pueden ser metálicas o plásticas.

Cuando más densas sean las mallas, menor será el tamaño de las partículas que dejen pasar, pero el costo será más elevado.

Las mallas que se colocan en el interior del filtro pueden ser de materiales y características diferentes (acero inoxidable o de plástico (poliéster, nylon, etc)). El parámetro que comúnmente se utiliza para evaluar la capacidad de retención del filtro es el número de Mesh, que se define como el número de orificios por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo, así se dice una malla de 120 Mesh o 120 orificios.

Las mallas normalmente utilizadas varían entre 40 y 200 MesH, según el tipo de gotero. Una regla que se aplica es usar mallas cuyo tamaño sea la décima parte del tamaño del orificio del gotero. Por ejemplo si se tiene un gotero cuyo orificio tiene un diámetro de 0,1 (mm) conviene utilizar mallas de 155 MesH es decir 0,1 (mm) de diámetro.



Figura N° 3.1
Filtro de mallas
Fuente: <http://www.hydroenv.com.mx/>

3.2) Equipo de fertilización:

El gran auge de los sistemas de riego tecnificado se debe en gran parte a la nueva forma de cultivo y la aplicación de los fertilizantes junto con el agua, lo que permite la aplicación y distribución optima de los fertilizantes solubles, herbicidas, fungicidas e insecticidas resultando un ahorro considerable de tiempo, de mano de obra e insumos.

3.2.1) Tanque de abonado:

El tanque de abonado consiste en un depósito herméticamente cerrado, conectado en paralelo a la red de riego.

Se fabrican en plástico reforzado o en metal, con volúmenes que van desde los 20 a 200 litros de capacidad y en cuyo interior se coloca el abono.

3.2.2) Inyector Venturi:

Un inyector venturi es fundamentalmente un tubo por el que circula agua, provisto de un estrechamiento en el que, por el efecto venturi, se produce una disminución de presión del sistema.

En la zona de estrechamiento lleva conectada una tubería cuyo otro extremo se introduce en un deposito con la solución a inyectar, a presión atmosférica.

La depresión provoca la succión del líquido y su incorporación a la red. Se coloca en paralelo con la tubería de riego,

3.3) Red de tuberías:

Las tuberías que se usan en las instalaciones de riego por goteo son de poli cloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE) y a veces se usa el fibrocemento solo para la red principal en grandes instalaciones.

Las tuberías principales son las que conducen el agua desde el cabezal de control, hasta los puntos en que se deriva hacia diferentes sectores de riego, dentro del mismo predio. Estas tuberías por lo general son de PVC rígido. Dado que estas tuberías conducen los mayores caudales y que posteriormente se derivan en diferentes sectores, son las de mayor diámetro de la red.

3.3.1) Tuberías Secundarias:

De las tuberías se derivan las tuberías secundarias o portar ramales las cuales, son las intermediarias entre los laterales y la tubería principal. Las tuberías secundarias son generalmente de PVC rígido, su diámetro es menor que el de las tuberías principales.

3.3.2) Tuberías porta goteros o laterales:

Los laterales van ubicados a lo largo de las hileras del cultivo y son las que llevan los goteros a intervalos regulares. Las tuberías laterales son por lo general de polietileno.

El espaciamiento de los laterales está en función de las distancias de plantación.

3.3.3) Accesorios de la red de tuberías:

La red de tuberías tiene generalmente válvulas de corte, reguladores de presión y piezas especiales.

Válvulas de corte:

Las válvulas pueden ser de operación manual o automática. Las válvulas de operación manual pueden ser de esfera, angular o de compuerta. La diferencia entre la válvula de esfera y la válvula angular es que en la segunda el cierre es lento y en la primera el cierre es más violento.

Reguladores de presión.

Son válvulas con mecanismos internos que permiten uniformar las presiones en todos los puntos de la red.

Piezas especiales

Las piezas especiales de la red de tuberías consisten en Tees, reducciones, curvas, codos, etc. Que se utilizan para derivar o unir tuberías.

3.4) Goteros

Los goteros son los dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la red de tuberías al suelo y su función es entregar caudales en forma lenta y uniforme.

Los goteros están diseñados para entregar un caudal que varía entre 1 a 10 litros hora, dependiendo de las medidas de paso de agua del gotero.

Su función radica en hacer pasar el agua, desde el sistema al suelo, a través de pequeños orificios o laberintos de largos recorridos, lo que provoca una pérdida de carga, producto al roce, haciendo que la presión a la salida del gotero tenga un valor cercano a cero.

En el mercado existe una gran variedad de goteros, los modelos más usados son: los goteros de largo recorrido, los goteros de orificio y las cintas de goteros.

Las principales características que debe reunir un gotero son:

- Caudal pequeño pero constante y poco sensible a las variaciones de presión.
- Orificio suficientemente grande para evitar obstrucciones.

3.4.1) Tipos de goteros

En el mercado existe una amplia gama de goteros que se fabrican, los cuales se han clasificado para servir de orientación acorde con la situación que se presente

- a) *Goteros sellados*: con dos o más piezas acopladas en fábrica que no pueden separarse si no es provocando su rotura. Cuando se obturan deben reemplazarse.
- b) *Goteros desmontables*: de dos o más piezas que pueden separarse para proceder a su limpieza manual.
- c) *Goteros interlínea*: de una sola pieza que se insertan dentro de la tubería utilizando parte de ésta como pieza exterior.
- d) *Goteros integrados*: se sitúan en el interior de las tuberías, en el proceso de fabricación, sin que exista ningún tipo de acoplos o juntas

- e) *Micro tubos*: Emisores de régimen laminar con alta sensibilidad a temperatura y presión y mayor riesgo a las obturaciones.
- f) *Goteros helicoidales*: Modificaciones de los micro tubos, enrollados alrededor de un cilindro y haciendo que la trayectoria del agua sea helicoidal y el régimen hidráulico se aleja de la condición laminar.
- g) *Goteros de laberinto*: El agua circula de forma más tortuosa, en régimen turbulento, menos sensibles a temperatura, presión y obturaciones. Pueden ser interlínea y sobre línea.
- h) *Goteros de orificio*: Goteros sobrelínea en los que el agua sale al exterior a través de un orificio de pequeño diámetro donde se disipa la presión disponible.
- i) *Gotero tipo vortex*: estos goteros tienen una cámara circular en donde se produce un flujo vortical. Este movimiento se consigue al entrar el agua tangencialmente a la pared circular de la cámara, produciéndose una importante pérdida de carga.
- j) *Gotero Autocompensante*: Son de flujos turbulento o transitorio en los que se intenta obtener un caudal constante independiente de la presión. La autorregulación se consigue normalmente mediante una pieza móvil y flexible de caucho que se deforma bajo el efecto de la presión, disminuyendo la sección de paso del agua y limitando así el caudal.
- k) *Autolimpiantes*: Existen dos tipos de goteros auto limpiantes los que pueden estar o no en posición limpiante y los que continuamente lo están. Los primeros sólo se limpian durante el tiempo que tarda el sistema en ponerse en funcionamiento y alcanzar la presión de régimen, o en pararse y pasar de esta a la presión atmosférica.

Los segundos, de limpieza continua, están fabricados para que partículas relativamente grandes sean expulsadas durante su funcionamiento.

3.5) Consideraciones para la elección del tipo de gotero

Esta se hace analizando los datos básicos, las características de los goteros, funcionamiento y costo de los goteros es muy importante, pero se debe tener en cuenta otros factores que permitan seleccionar el mejor para una caso particular.

Los goteros que se obstruyen menos son también los más caros, por lo que debe pensarse primeramente en la calidad del agua, en la disponibilidad de mano de obra para la limpieza y el cambio de goteros, o en el precio de un sistema de filtrado más perfecto.

Los goteros de largo recorrido se obstruyen fácilmente y además las variaciones de presión les afectan más que a los de régimen turbulento, por lo que si el terreno es ondulado, no deben utilizarse. Si el terreno presenta fuertes pendientes se tendrá que buscar goteros auto compensadores de presión. Aunque estos goteros tienen un coeficiente de variación de fabricación alto y la mayor parte de estos cuentan con una membrana flexible, a la que suele afectarle las altas temperaturas.

Si el cultivo es de tipo permanente y de gran crecimiento como los árboles frutales, se pueden empezar con uno o dos goteros y después ir agregando nuevos goteros dependiendo del crecimiento del árbol. Otra solución más cómoda es colocar un gotero múltiple e ir abriendo salidas de acuerdo al desarrollo de la planta.

En los cultivos hortícolas, por la disposición del cultivo en franjas, son adecuados los goteros en línea, con una separación entre ellos que permita una pequeña superposición de los bulbos de humedad. Otra solución es utilizar goteros

múltiples con micro tubos que lleguen a cada planta o colocando un microtubo entre dos plantas.

La distribución del agua alrededor de la planta también es un factor que debe considerarse, ya que es un factor muy difícil de alterar una vez terminada la instalación del sistema.

En general todos los goteros tienen ventajas e inconvenientes, ya que si existiera un gotero que no se tupiera, fuera poco sensible a los cambios de presión o temperatura y tuviera un coeficiente de variación de fabricación muy pequeño, sería muy caro lo que sería el punto desfavorable de éste.

Para una buena elección de un gotero, se debe conseguir que sus ventajas sean muy superiores a sus inconvenientes y que analizando la inversión y los costos de mantenimiento se llegue a la instalación más rentable.

ANEXO 4

DISEÑO Y DESARROLLO AGRONOMICO PARA RIEGO POR GOTEO.

4.1) Estudio de necesidades

a) Topografía del lugar

De acuerdo con el lugar, es necesario hacer un levantamiento topográfico del sector donde se instalara el invernadero con el sistema de goteo, con el fin de determinar la superficie, forma, pendiente, localización y cotas desde donde se pretende situar el equipo de bombeo, esto último con el objetivo de calcular los requerimientos del sistema.

b) Suelo

El suelo, factor importante en el riego por goteo, ya que según el tipo y las características, van a determinar la cantidad de agua que se deberá entregar a cada planta, donde la forma de absorber será distinta. Dentro de la variedad los tipos más comunes son el suelo arenoso, franco y arcilloso.

En el estudio, el suelo es de tipo franco arcilloso, este tipo de suelo presenta una rica composición orgánica para el cultivo, pero al contener una alta cantidad de arcilla retiene más el agua formando un bulbo más ancho. En el riego por goteo es de especial importancia considerar la tasa de entrega de agua al suelo, pues la aplicación de los goteros no puede ser mayor que la infiltración, por definición del sistema que implica que sean mínimas las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda.

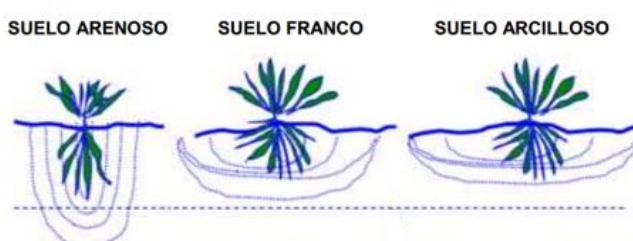


Figura N° 4.1
Tipos de suelo

c) Agua

Es necesario conocer la disponibilidad del recurso hídrico a través del año, por las variaciones que sufren las napas subterráneas, de donde se pretende extrae el agua para el cultivo. El abastecimiento de agua del sistema se basara en las necesidades de cada planta.

d) Bulbo

A pesar que el sistema de riego es de gota en gota, los goteros arrojan pequeños caudales localizados, formando un pequeño charco, cuyo radio se va extendiendo a medida que el riego continua, esta formación es el bulbo húmedo, el cual depende del tipo de suelo y de la velocidad de infiltración que este tenga. Es importante que el bulbo no exceda la cantidad de agua que consuma la planta ya que esto podrá traer consecuencias irreparables, pudiendo provocar la pudrición del cultivo por un exceso de humedad.

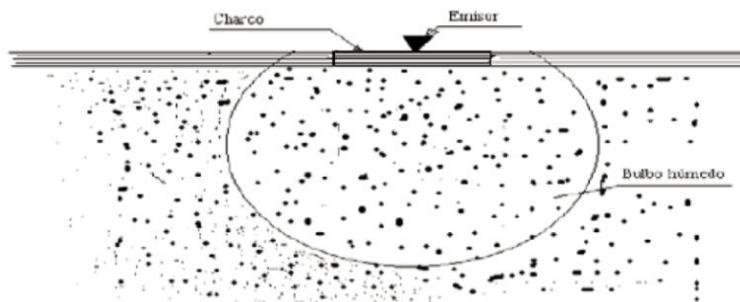


Figura N° 4.2
Infiltración de agua en el suelo

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta las capas internas.

La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua y el tiempo de riego que se necesita para reponer una cantidad de agua en el suelo que puede absorber a lo largo del tiempo, cuando esta cantidad de agua se sobrepasa, en función del volumen de agua y características del suelo se pueden valorar los riesgos de encarcamiento por lo tanto se produce una saturación.

Tabla N°4.1

Velocidades de infiltración según el tipo de suelo:

Textura	Velocidad de infiltración (mm/ hr)
Arcilloso	< 5
Franco -- Arcilloso	5 – 10
Franco	10 -- 20
Franco -- Arenoso	20 -- 30
Arenoso	> 30

Fuente: Comisión nacional de riego Chile, proyecto Sepor (Servicio de programación y optimización del uso del agua de riego).

c) Clima:

El sistema de riego por goteo no se verá afectado por vientos ni exceso de agua (precipitaciones) ya que la salida del fluido será gota a gota y además por estar implementado en un invernadero. Los factores climáticos que puedan tener influencia sobre el sistema es la evapotranspiración el cual dependerá de la infiltración y de la temperatura a la cual estará afectado.

4.2) Requerimientos del cultivo

Las necesidades hídricas del cultivo como la cantidad de agua que se debe aplicar expresan lo necesario para compensar el déficit de humedad del suelo.

El cultivo absorbe el agua por medio de sus raíces, por lo tanto, suelo y planta están sometidos a efectos climáticos, los cuales generan procesos que afectan en la dosis, el tiempo y en los intervalos de riego etc. En los requerimientos del estudio hay efectos que son determinantes a la hora de planificar y diseñar el sistema de riego, tales como la transpiración y evaporación donde se consideran en forma conjunta y dan paso a la Evotranspiración.

4.2.1) Evotranspiración (ET)

La Evotranspiración, suma de la transpiración de la planta más la evaporación desde el suelo, procesos que ocurren simultáneamente, es una de las variables más importantes para planificar el riego del cultivo en un determinado lugar y en un suelo con características propias y que debe ser satisfecha estacionalmente mediante el riego para que no se vea afectada la producción potencial del cultivo.

De toda el agua que el sistema suelo-planta recibe, bien por la lluvia o por el riego, una primera cantidad no llega ni siquiera a infiltrarse en el suelo, se pierde directamente por escorrentía. Otra segunda parte del agua, va hacia estratos profundos, lejos del alcance de la raíz, las cuales constituyen pérdidas por percolación o drenaje. Otra tercera pérdida importante es el proceso físico de paso de agua en forma de vapor desde el suelo directamente, o bien, desde la superficie de la hoja a la atmósfera y que se conoce como evaporación. Finalmente, queda una parte del agua del suelo, que es absorbida por las raíces y pasa directamente a la atmósfera, en forma de vapor de agua: es la transpiración. La Evotranspiración es expresada en (mm) de altura de agua por metro cuadrado en cada día ($\frac{mm}{dia}$) y lo cual varía de acuerdo a factores climáticos. Se debe tener en cuenta que 1 (mm) de agua evapotranspirada es igual a 1 litro por cada metro cuadrado de terreno, o sea si un cultivo Evotranspiración 5 ($\frac{mm}{dia}$) significa que consume 5 litros por cada metro cuadrado de terreno, donde el sistema de riego debe ser capaz de entregar esta cantidad de agua.

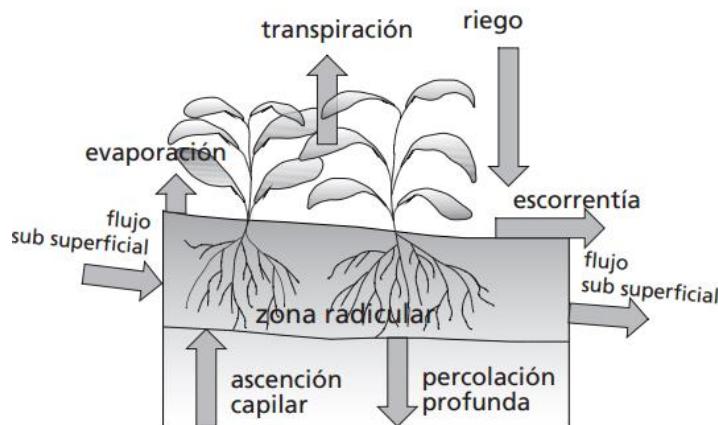


Figura N° 4.3
Diagrama de flujo de agua

La Evotranspiración se clasifica en:

- Evotranspiración de referencia (ET_o)
- Evotranspiración bajo condiciones no estándar (ET_{caj})
- Evotranspiración bajo condiciones estándar (ET_c)

4.2.2) Evotranspiración de referencia (ET_o)

Es la tasa de evapotranspiración de una superficie referencial, que ocurre sin límites de agua en un cultivo hipotético completamente cubierto, que está en óptimas condiciones de humedad de suelo y que es regulada por las condiciones climáticas, puede ser calculada por datos meteorológicos o por el método de la FAO Penman – Monteith.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta(R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \cdot U_2)}$$

Dónde:

ET_o Evapotranspiración de referencia ($mm\ dia^{-1}$)

R_n	Radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$)
R_a	Radiación extra terrestre ($mm\ dia^{-1}$)
G	Flujo de calor de suelo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$)
T	Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}C$)
U_2	Velocidad del viento a 2 (m)de altura ($m\ s^{-1}$)
e_s	Presión de vapor de saturación (kPa)
e_a	Déficit de presión de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	Pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)
γ	Constante psicométrica ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)

Se observa que es bastante complejo obtener a Evotranspiración de referencia. No obstante, se presenta para señalar que el tema ha sido estudiado con detalle por especialistas.

4.2.3) Evotranspiración bajo condiciones estándar (real), (ET_c)

Esta se refiere al cultivo con los límites máximos o potencialmente establecidos, a la cantidad de agua que efectivamente es utilizada por la planta.

La forma de expresar la Evotranspiración real está dada por la siguiente fórmula:

$$ET_C = ET_O \cdot K_c$$

Dónde:

ET_c = Evotranspiración real

ET_O = Evotranspiración del cultivo de referencia.

K_c = Coeficiente de cultivo

4.3) Coeficiente de cultivo (K_c)

Este describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, en los cuales se diferencian 4 etapas la inicial, desarrollo, media y maduración.

Tabla N° 4.2

Coeficientes de cultivo para diferentes hortalizas (k_c)

Cultivo	Inicial	Desarrollo	Media estacion	Finales
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90

Coeficientes de cultivos referenciales. Fuente (centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal CENTA 2013).

Para el caso en estudio la evapotranspiración referencial (ET_O) es de 6 ($\frac{mm}{dia}$) determinado por el boletín técnico año 2012 "Necesidades de cultivo" de la Universidad de Concepción (ver Anexo N° 8) esto para el sector de Yumbel (Comuna más próxima), como estos datos fueron analizados en un cultivo exterior se determina que la ET_O será de 3 ($\frac{mm}{dia}$) esto según la investigación del investigador métodos de estimacion de la evapotranspiración de un cultivo de lechuga en condiciones de invernadero, zona central de Chile de Manuel Casanova, Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile.

Para K_c se determina según la Tabla N° 4.2 correspondiente para el cultivo seleccionado.

$$ET_C = 3 \cdot 0,6$$

$$ET_C = 1,8(\frac{mm}{dia})$$

4.4) Requerimiento de agua por planta

$$V_a = ET_c \cdot S_p \cdot S_h \left(\frac{lt}{dia} \right)$$

$$V_a = 1,8 \cdot 0,3 \cdot 0,4$$

$$V_a = 0,216 \left(\frac{lt}{dia} \right)$$

Dónde:

ET_c = Evotranspiración real

S_p = Separación entre plantas

S_h = separación entre hileras

4.5) Volumen total

En el volumen total se considera un 90 (%) de eficiencia para el riego por goteo.

$$V_t = \frac{V_a}{E_a} \left(\frac{lt}{hora} \right) \quad V_t = \frac{0,216}{0,9} \quad V_t = 0,24 \left(\frac{lt}{hora} \right)$$

4.6) Porcentaje de humedad (P_H)

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve.

La humedad conveniente para la lechuga es del 60 al 80 (%).

$P_H = 80$ (%) de humedad (Valor recomendado)

4.7) Lámina de agua neta óptima (L_{no})

La lámina neta es la que permite determinar las necesidades de riego a aplicar al cultivo a través de las características hídricas y físicas del tipo de suelo a regar y está determinada por la siguiente expresión:

$$L_{no} = \frac{(cc - PMP) \cdot D_a \cdot H \cdot C_r \cdot PH}{1000}$$

Dónde:

L_{no} = Lámina de agua neta óptima.

cc = 27 (%) Capacidad de campo.

PMP = 13 (%) Punto marchitez permanente

$H = 0,6 \text{ (m)}$	Profundidad radicular del cultivo.
$C_r = 10 \text{ (%)}$	Criterio de riego. (Valor recomendado).
$PH = 80 \text{ (%)}$	Porcentaje de humedad.
$D_a = 1,35 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$	Densidad aparente.

Los valores están estandarizados a través de pruebas, los cuales se demuestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.3
Propiedades Físicas de los suelos.
Propiedades Físicas de los suelos

Textura del suelo	Densidad aparente ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchite (%)
Arenoso	1,68	9	4,0
Franco - Arenoso	1,50	14	6,0
Franco	1,43	22	10,0
Franco - Arcilloso	1,35	27	13,0
Arcilloso	1,25	35	17,0

Fuente: CORFO - CIREN, *Manuel de estándares técnico económico de obras menores de riego, 1986*

Por lo tanto reemplazando en la fórmula la lámina de agua neta óptima será:

$$L_{no} = \frac{(27 - 13) \cdot 1,35 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 80}{1000}$$

$$L_{no} = 9,0 \text{ (mm)}$$

4.8) Frecuencia de riego

La frecuencia de riego permite estimar el número de días transcurridos entre dos riegos consecutivos, tomando en cuenta las necesidades de riego netas del mismo cultivo y la Evotranspiración. La frecuencia se puede estimar de la siguiente forma:

$$F_{ro} = \frac{L_{no}}{ET_c}$$

Dónde:

F_{ro} = Frecuencia de riego.

$L_{no} = 9,0 \text{ (mm)} \quad \text{lámina de agua}$

$ET_c = 3 \left(\frac{\text{mm}}{\text{dia}} \right) \quad \text{evapotranspiración real}$

$$F_{ro} = \frac{L_{no}}{ET_c} \text{ (dias)}$$

$$F_{ro} = \frac{9,0}{3}$$

$$F_{ro} = 3 \text{ (dias)}$$

4.9) Lámina bruta de agua (L_b)

Es la cantidad de total de agua que recibe el cultivo y está dada por la siguiente expresión:

$$L_b = \frac{L_{no}}{\eta} \times 100$$

Dónde:

L_b = Lámina bruta.

$L_{no} = 9,0 \text{ (mm)} \quad \text{lámina de agua neta óptima.}$

$\eta = 90 \text{ (\%)} \quad \text{Rendimiento.}$

$$L_b = \frac{L_{no}}{\eta} \cdot 100 \text{ (mm)}$$

$$L_b = \frac{9,0}{90} \cdot 100$$

$$L_b = 10 \text{ (mm)}$$

4.10) Elección del gotero

La elección del gotero parte fundamental del diseño, está basada en los parámetros de plantación, en las necesidades hídricas del cultivo y en los factores agrícolas (tipo de suelo, agua, etc.) además con los datos aportados en el capítulo anterior se ha determinado que el gotero a usar será de interlínea ya que cuenta con una buena relación, entre el paso mínimo de laberinto y la apertura del prefiltro, lo que reduce la posibilidad de obturación, logrando además un régimen turbulento lo que ayuda a que las sales, arena, hongos, etc. No se adhieran y puedan ocasionar la obturación del gotero.

Según los cálculos requeridos para la lámina bruta de agua que es de 10 (mm) se debe aplicar un caudal de gotero que me abastezca esta necesidad. Aplicando la siguiente ecuación se podrá determinar aproximadamente el caudal requerido.

$$q_0 = L_n \cdot S_e \cdot S_r \left(\frac{lt}{h} \right)$$

Dónde:

q_0 = Caudal estimado

L_n = 10 (mm) Lámina bruta.

S_e = 0,3 (m) Separación entre emisores.

S_r = 0,4 (m) Separación entre hileras.

$$q_0 = 10 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 1,2 \left(\frac{lt}{h} \right)$$

Como el caudal es $1,2 \left(\frac{lt}{h} \right)$, se aproxima a $2 \left(\frac{lt}{h} \right)$ ya que para gotero seleccionado están estandarizados los caudales, por lo tanto se tiene:

- Gotero interlinea de caudal medio a 1 bar: $2.0 \left(\frac{lt}{h} \right)$ de 16 (mm) de diámetro.
- Coeficiente de variación : 3,01 (%)
- Curva caudal - presión : $Q = 3,85615 \cdot p^{0,543344}$

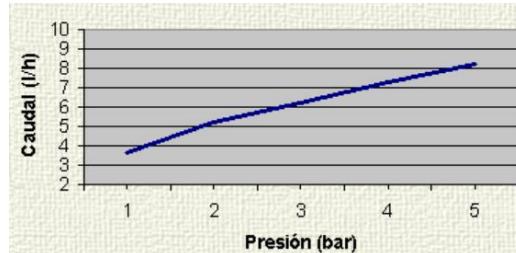


Figura N° 4.4
Curva característica del gotero.
Fuente <http://www.plasgot.com/INDEX.HTM>

Para poder calcular el caudal del gotero se necesita la presión a la cual llega al emisor.

La presión en el interior de la red de cañerías será aportada por la altura del estanque el cual está ubicado 4 (m) sobre el suelo, proporcionando así 4 (m.c.a) de presión.

Calculando la ecuación requerida del emisor, para poder obtener el caudal que entrega el gotero a la presión que entrega la altura del estanque.

$$Q = 3,85615 \cdot 0,39^{0,543344} = 1,22 \left(\frac{lt}{h} \right)$$

En conclusión se tiene un caudal de 1,2 litros por hora el cual es suficiente para satisfacer la necesidad de agua de la planta.

4.11) Tasa de aplicación del riego por goteo.(T_{rg})

La aplicación del riego es fundamental a la hora de regar el cultivo, ya que así se conoce la cantidad aproximada y suficiente de agua que se debe aplicar para poder optimizar el recurso hídrico. La tasa esta expresada de la siguiente manera:

$$T_{rg} = \frac{q_0}{S_e \cdot S_r}$$

Dónde:

T_{rg} = Tasa de aplicación del riego por goteo.

$q_0 = 1,22 \left(\frac{lt}{hr} \right)$ caudal del gotero

$S_e = 0,3 \text{ (m)}$ separación de emisores

$S_r = 0,4 \text{ (m)}$ separación entre hileras

Reemplazando en la fórmula se tiene que:

$$T_{rg} = \frac{1,22}{0,3 \cdot 0,4}$$

$$T_{rg} = 10,16 \left(\frac{mm}{h} \right)$$

4.12) Tiempo de riego óptimo o duración del riego

El tiempo de riego es la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo durante el día, tomando en cuenta las necesidades específicas de las plantas. La expresión para definir el tiempo es la siguiente:

$$T_{ro} = \frac{L_b \cdot S_e \cdot S_r}{q_0}$$

Dónde:

T_{ro} = Tiempo de riego óptimo.

S_e = 0,3 (m) separación entre emisores.

S_r = 0,4 (m) separación entre hileras.

q₀ = 1,22 ($\frac{lt}{hr}$) caudal gotero.

L_b = 10 (mm) Lámina bruta.

Reemplazando en la fórmula se tiene que:

$$T_{ro} = \frac{10 \cdot 0,3 \cdot 0,4}{1,22} = 1,18(\text{ hr}) \text{ durante el día.}$$

ANEXO 5

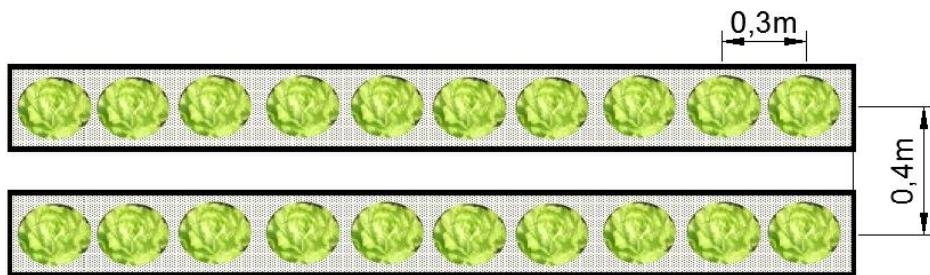
DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO EN RIEGO POR GOTEO

5.1) Marco de plantación.

Para diseño del sistema de riego por goteo, la disposición de las hileras y separación de los emisores están determinados según los metros cuadrados de superficie que ocupa el sistema y en base al tipo de plantación, que en este caso es la lechuga de la variedad Lollo bionda. Los parámetros de plantación serán los siguientes.

- La superficie ocupada por este sistema, para el estudio es de 24 (m^2).
- El diseño cuenta con 10 hileras de plantación con un largo de 6 (m).
- Separación entre hileras es de 0,4 (m).
- Separación entre emisores o plantas es de 0,3 (m).
- El sistema de riego cuenta con un total de 200 lechugas, siendo por cada hilera 20 plantas.

Figura 5.1
Marco de Plantación



5.2) Disponibilidad de agua

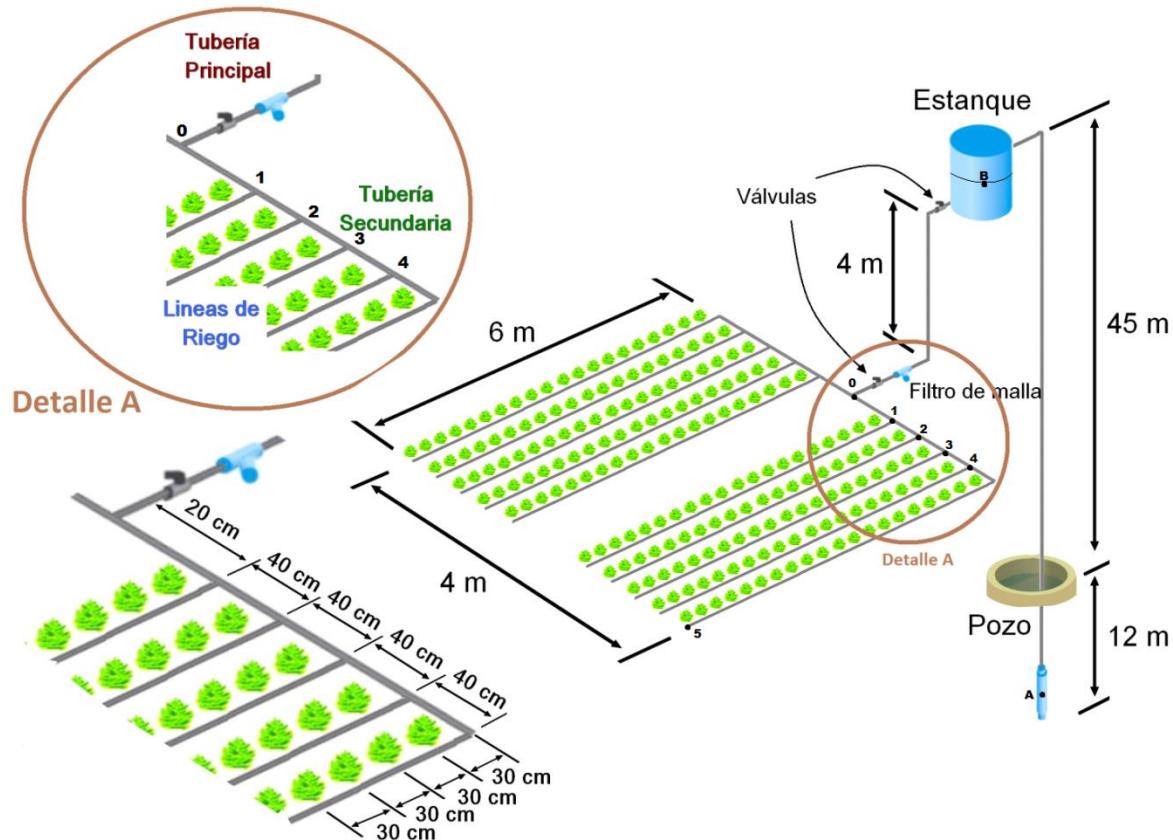
El recurso hídrico a utilizar sería captado de napas subterráneas, a través de una bomba. El abastecimiento del agua para el riego por goteo se basará en las necesidades del cultivo, donde interesa que el fluido sea continuo (en tiempo de riego) con caudales bajos.

La ubicación de la fuente de agua determina la localización de la unidad de bombeo, así como la disponibilidad total de agua determinará el potencial regable.

5.3) Fuente de energía

La extracción de agua se realizará a través de una bomba, cuyo motor conecta a la red de energía eléctrica. El agua es impulsada a un estanque en altura donde se acumula y se transforma en energía de presión que el sistema necesita para trabajar.

Figura N° 5.2
Esquema de instalación de riego por Goteo



Fuente: Elaboración propia

5.4) Necesidad hídrica

Según la elección del gotero y el cálculo del requerimiento de agua por planta $q_0 = 1,2 \left(\frac{l}{h}\right)$, como se considera un total de 200 goteros el caudal requerido por el sistema será 240 litros por hora.

5.5) Cálculo de balance de energía.

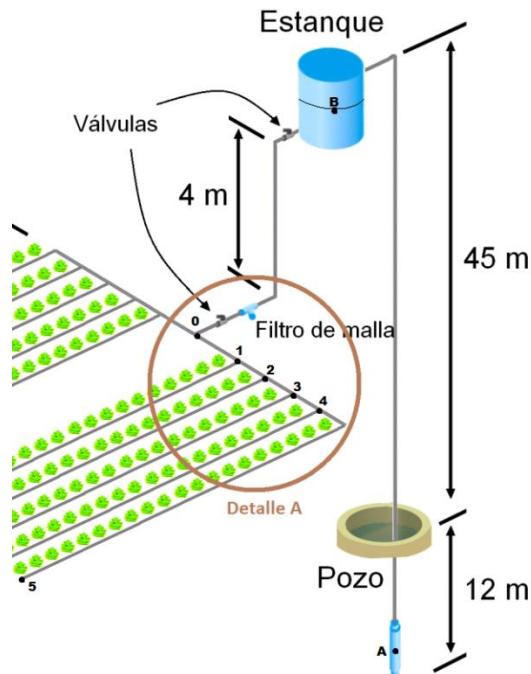


Figura 5.3
Esquema para balances de Energía

Para realizar el balance de energía se utilizarán las ecuaciones siguientes:

$$B = \frac{P}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación de Bernoulli}$$

Se tiene por diseño que:

$$B_A = 0 \text{ (m)}$$

$$B_B = 57 \text{ (m)}$$

$$B_5 = 0 \text{ (m)}$$

$$H = 57 + Perd_{A-B} \quad (m)$$

$$B_B = Perd_{B-0} + Perd_{0-1} + Perd_{1-2} + Perd_{2-3} + Perd_{3-4} + Perd_{4-5} \quad (m)$$

5.6 Cálculo de las pérdidas de carga en la Línea de riego.

Las pérdidas de carga en una tubería lateral o línea de riego se pueden obtener a través de las siguientes ecuaciones:

Donde J' se obtiene de la siguiente ecuación:

$$J' = J \cdot \left[\frac{S_e + l_e}{S_e} \right] \dots \dots \dots \quad (2)$$

Donde J viene dado por la ecuación de Hanzen-Williams:

$$J = 1.21 \cdot 10^{12} \left[\frac{q_n^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}} \right] \dots \quad (3)$$

Dónde:

L : Largo del lateral 6 (m).

f_c : Coeficiente de compresión para la descarga a lo largo de la tubería

q_n : Caudal medio en cada tramo de la línea de riego ($\frac{l}{s}$)

s_e : Separación entre emisores 0,3 (m).

l_e : Longitud equivalente del gotero 0,23 (m).

C : Coeficiente de fricción para una tubería

D : Diámetro interior del lateral 16 (mm).

h_f : Pérdida de carga en la tubería lateral

Para goteros de Conexión interlínea, la longitud equivalente (l_e) de cada gotero varía entre 0,1 y 0,3 (m). Un valor común en tuberías porta goteros con conexión interlínea de diámetros nominales de 16 (mm) es de 0,23 (m/gotero).

Fuente:http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20qoteo/tutorial_08.htm

Tabla N° 5.1
Coeficiente de compensación para líneas de goteros. (fc)

Número de goteros	Valor de (fc)	Número de goteros	Valor de (fc)
1	1	14	0,387
2	0,639	16	0,382
3	0,535	18	0,379
4	0,486	20	0,376
5	0,457	25	0,371
6	0,435	30	0,368
8	0,412	40	0,364
10	0,402	50	0,361
12	0,394	100	0,356

Fuente: Karmeli, D and Keller, J. Trickle Irrigation Design. 1975.

$$J = 1,21 \cdot 10^{12} \left[\frac{0,0066^{1,852}}{150^{1,852} \cdot 16^{4,87}} \right] \quad (3)$$

$$J = 0,0141$$

Ahora reemplazando 3 en 2 se tiene:

$$J' = 0,0141 \cdot \left[\frac{0,3 + 0,23}{0,3} \right] \quad (2)$$

$$J' = 0,0249$$

Reemplazando en la ecuación (2) en (1)

Se tiene que en el tramo a estudiar existen 20 salidas de agua, esto equivale un fc = 0,376. Y un largo total de 6 metros desde que entra el fluido hasta el término de la cañería.

$$h_f = 0,0249 \cdot 0,376 \cdot 6 \quad (1)$$

$h_f = 0,0562(m)$ Que equivalen a la pérdida en una tubería lateral o línea de riego.

5.6) Cálculo de presiones en los extremos de la línea lateral o de riego.

Según el diseño y componentes de éste, se puede obtener aplicando las siguientes ecuaciones:

Presión al inicio de la cañería

$$h_m = h_a + 0,77 \cdot h_f + \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (4)$$

Presión al final de la cañería

$$h_n = h_a - 0,23 \cdot h_f + \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (5)$$

Dónde:

h_a : Presión de operación media del gotero en el lateral altura de estanque (4 m.c.a)

h_f : Pérdida de carga en tubería lateral (0,0562 m)

z_1, z_2 : Diferencia de altura (cero debido que no existirá diferencia altimétrica entre ambos puntos)

h_m : Presión al inicio de la línea de riego

h_n : Presión al final de la línea de riego

Presión al inicio de la cañería

$$h_m = 4 + 0,77 \cdot 0,0562$$

$$h_m = 4,04 \text{ m. c. a}$$

Presión al final de la cañería

$$h_n = 4 - 0,23 \cdot 0,0562$$

$$h_n = 3,98 \text{ m. c. a}$$

5.7) Cálculo de las pérdidas de carga en tubería secundaria.

Según el diseño propuesto, la cañería principal llegará al centro de la cañería secundaria, esto es a la mitad de los ramales de cultivo, ver diagrama de cultivo, se procederá a calcular entonces solo la mitad derecha ya que el otro lado es igual en magnitud y cantidad de líneas de riego.

Para el cálculo de las pérdidas de carga de la tubería secundaria este se realizará por tramos, es decir, entre cada salida de las tuberías laterales ya que el caudal va disminuyendo a medida que cada cañería de riego satisface sus necesidades de caudal.

Las pérdidas de carga en el tramo 0-1 de la tubería secundaria se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones:

$$h_f = J' \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (1)$$

Donde J' se obtiene de la siguiente ecuación:

$$J' = J \cdot \left[\frac{S_e + l_e}{S_e} \right] \dots \dots \dots (2)$$

Donde J viene dado por la ecuación de Hanzen-Williams:

$$J = 1,21 \cdot 10^{12} \left[\frac{q_0^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}} \right] \dots \dots \dots (3)$$

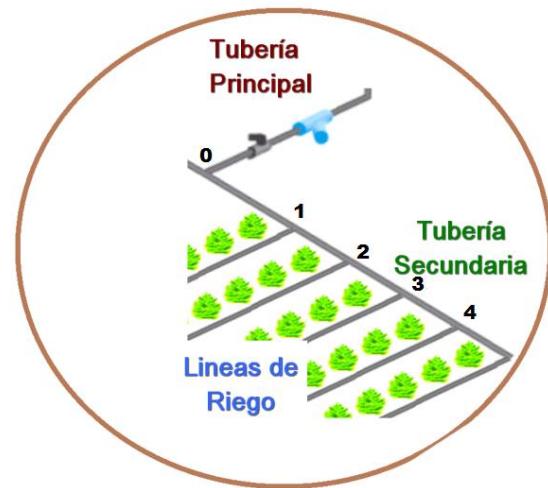


Figura N° 5.4
Esquema de Tuberías

Dónde:

q_i : 0,033 ($\frac{l}{s}$), varía en cada tramo.

S_e : Separación entre emisores 0,3 (m).

l_e : Longitud equivalente del gotero 0,06 (m).

f_c : Coeficiente de compensación para 1 gotero, Tabla 2.8.

C : Coeficiente de fricción para una tubería de PVC, 150.

D : Diámetro interior de la cinta 32 (mm).

l : Longitud de la línea de riego 0,2 (m).

En la tubería secundaria la conexión será de tipo en derivación, por lo tanto la longitud equivalente del gotero está dada por la siguiente tabla:

Tabla 5.2

Longitud equivalente producida por goteros interlinea en conexión en derivación.

Diámetro Nominal (mm)	12	16	20	25	32	40	50	63
Long. Equivalente (m)	0,25	0,16	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03

Reemplazando los valores se tiene:

$$J = 1.21 \cdot 10^{12} \left[\frac{0,033^{1,852}}{150^{1,852} \cdot 32^{4,87}} \right] \rightarrow J = 0,00952$$

Por lo tanto:

$$J' = 0,00952 \cdot \frac{0,3 + 0,06}{0,3} = 0,01$$

Ahora reemplazando J' en la ecuación $h_f = J' \cdot f_c \cdot L$ se tiene:

$$h_f = 0,01 \cdot 1 \cdot 0,2$$

$$h_f = 0,002 \text{ (m)}$$

A esta pérdida de carga se debe sumar la pérdida de la línea de riego obtenida anteriormente, quedando de la siguiente manera:

$$h_f = 0,002 + 0,055 \text{ (m)} = 0,057 \text{ (m)}$$

Las pérdidas de carga del resto de la tubería se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 5.2

Pérdidas de carga en los tramos de la tubería secundaria.

Tramo	$Q_i \left(\frac{l}{s} \right)$	$J \left(\frac{m}{m} \right)$	$J' \left(\frac{m}{m} \right)$	f_c	$h_f = J' \cdot f_c \cdot L \text{ (m)}$	$h_f + \text{pérdida en línea de riego}$
0-1	0,033	0,00952515	0,01142400	1	0,00300042	0,058000422
1-2	0,026	0,00612512	0,00964706	0,639	0,00246579	0,05746579
2-3	0,02	0,00376783	0,00593434	0,535	0,00126995	0,056269948
3-4	0,0133	0,00176993	0,00278765	0,486	0,00054192	0,055541919
4-5	0,0066	0,00048348	0,00076148	0,457	0,0001392	0,055139199

Fuente: Elaboración propia.

La suma de las pérdidas de carga para un sector de la tubería secundaria es la siguiente:

$$\sum h_{fs1} = 0,2824 \approx 0,3(m)$$

Como el otro sector posee las mismas características, necesita la misma energía para suplir las necesidades, por lo tanto $h_{fs1} \approx h_{fs2} \approx 0,3\text{ m}$

5.8) Cálculo de la presión en los extremos de tubería lateral.

Aplicando las ecuaciones (4) y (5) para el cálculo de presiones se tiene:

$$h_m = h_a + 0,77 \cdot h_f + \frac{z_1 - z_2}{2}$$

$$h_n = h_a - 0,23 \cdot h_f + \frac{z_1 - z_2}{2}$$

Para este caso se considera que la presión de operación es igual a la presión al inicio de la tubería lateral, además se asume que el terreno es plano.

$$h_a = h_m = 4 \text{ (m. c. a.)}$$

$$z_1 - z_2 = 0 \text{ (m)}$$

$$h_f = 0,3 \text{ (m)}$$

Luego se tiene:

Presión de la tubería secundaria a la entrada

$$h_m = 4 + 0,77 \cdot 0,3 + 0 = 4,213 \text{ (m. c. a.)}$$

$$h_m = 4,213 \text{ (m. c. a.).}$$

Presión de la tubería secundaria a la salida

$$h_n = 4 - 0,23 \cdot 0,3 + 0 = 3,931 \text{ (m. c. a.)}$$

$$h_n = 3,931 \text{ (m. c. a.).}$$

5.9) Cálculo de las pérdidas de carga en la tubería principal.

Para la obtención de las pérdidas de carga se utilizarán las ecuaciones de Darcy-Weisbach que se presentan a continuación:

$$h_{f\ Reg} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad h_{f\ Sing} = \sum K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Aplicando la ecuación de continuidad de los fluidos $Q = V \cdot A$, despejando la velocidad y reemplazando ésta en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{16 \cdot Q^2}{2 \cdot \pi^2 \cdot g \cdot D^4} = \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

Reemplazando $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ en las ecuaciones de pérdida de carga regular y singular:

$$h_f \text{ Reg} = f \cdot \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad h_f \text{ Sing} = \sum K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

Dónde:

h_f : Pérdidas de carga en la tubería principal (m).

f : Factor de fricción, adimensional.

L : Largo de la tubería principal (m).

D : Diámetro de la tubería principal (m).

g : Aceleración de gravedad (m/s^2).

Q : Caudal en la tubería (m^3/s).

Para conocer el factor de fricción se debe conocer el número de Reynolds el cual es función de la velocidad y la viscosidad cinemática del agua.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Dónde:

$V = 0,0829 \left(\frac{m}{s} \right)$ Velocidad del agua.

$D = 0,032 \text{ (m)}$ Diámetro de la tubería.

$\nu = 1,007 \cdot 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s} \right)$ a 20°C Viscosidad cinemática = 1

Reemplazando se tiene:

$$Re = \frac{0,0829 \cdot 0,032}{1 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 2652,8$$

Conociendo el número de Reynolds se puede determinar la ecuación del coeficiente de fricción f y por lo tanto se puede determinar las pérdidas de carga presentes en la tubería principal.

A continuación se muestran las ecuaciones que permiten determinar el factor de fricción de acuerdo al número de Reynolds:

Tabla N° 5.3

Rangos de validez para obtener el factor de fricción.

Rango de validez	Expresión para calcular f
$Re \leq 2000$	$f = \frac{64}{Re}$
$2000 < Re < 2600$	$f = 0,0000225 \cdot Re - 0,013$
$Re \geq 2600$	$f = 0,005 + \frac{0,4886}{Re^{0,3183}}$

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se tiene un valor del número de Reynolds de:

$$Re = 2652,8$$

Debido a que se encuentra en el rango $Re \geq 2600$, de aquí se procede a calcular el factor de fricción con la fórmula: $f = 0,005 + \frac{0,4886}{Re^{0,3183}}$, el cual da un valor de:

$$f = 0,044$$

Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería principal:

$$Q = 240 \left(\frac{l}{h} \right) = 0,00006666 \left(\frac{m^3}{s} \right) \sim 0,0001 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$L = 5 \text{ (m)}$$

$$\text{Diámetro interior} = 32 \text{ (mm)} = 0,032 \text{ m}$$

$$2 \text{ codo de } 90^\circ k_s = 0,84$$

$$2 \text{ válvula de globo } k_s = 0,72$$

$$\sum k_s = 3,12$$

Ahora reemplazando los datos en la ecuación de pérdidas regulares se tiene:

$$h_{f\ Reg} = f \cdot \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

$$h_{f\ Reg} = 0,044 \cdot \frac{5 \cdot 8 \cdot 0,0001^2}{\pi^2 \cdot g \cdot 0,032^5}$$

$$h_{f\ Reg} = 0,005(m)$$

Ahora reemplazando los datos en la ecuación de pérdidas singular se tiene:

$$h_{f\ Sing} = \sum K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

$$h_{f\ Sing} = 3,12 \cdot \frac{8 \cdot 0,0001^2}{\pi^2 \cdot g \cdot 0,032^4}$$

$$h_{f\ Sing} = 0,00246 (m)$$

Se suman ambas pérdidas de carga para así obtener la pérdida total del circuito:

$$\text{Pérdida de carga total} = h_{f\ Reg} + h_{f\ Sing}$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 0,005 + 0,00246$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 0,00746 (m)$$

A esto se debe sumar las pérdidas en la toma de agua del estanque y el filtro de malla, lo cual da un valor para la pérdida de carga de la tubería principal de:

$$h_f = 0,00746 + 1,2 + 1,2 = 2,4 (m)$$

Ahora sumando las pérdidas de carga de todas las tuberías laterales, la tubería secundaria y las pérdidas de la tubería principal, se tiene:

$$H = 0,055 + 0,6 + 2,4 = 3,055 (m)$$

Según los cálculos se observa que la pérdida total de carga por el flujo de fluido es de 3,055 (m) y se dispone como energía de presión 4 (m) por lo tanto el sistema puede funcionar sin bomba, este sistema se le conoce como sistema de riego por gravedad.

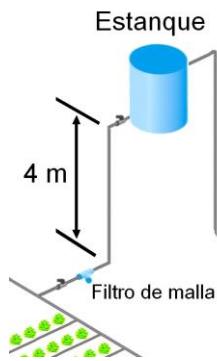


Figura 5.3
Estanque en altura, Riego por gravedad.

5.10) Cálculo de la bomba de extracción de agua.

5.10.1) Dimensionado del grupo de bombeo

Este grupo de bombeo debe ser capaz de llenar de agua el estanque que alimenta el sistema de riego por goteo, a razón de 280 (L) cada 3 días, lo cual es un caudal extremadamente pequeño, dicha agua se extrae de una puntera ubicada 57 m más abajo, por lo tanto la altura de la bomba será de 57 m más las pérdidas de carga para estimar las pérdidas de carga se estima un caudal preliminar (caudal de acuerdo al requerido por el cultivo) para razones de cálculos y selección de la bomba, según el siguiente criterio:

- Número de plantas a regar: 200 lechugas
- Caudal de riego por planta: $1,2 \left(\frac{l}{h} \right)$
- Caudal total necesario: $240 \left(\frac{l}{h} \right) = 0,240 \left(\frac{m^3}{h} \right)$

Por otro lado, en cuanto a la energía que debe dar la bomba de agua para el riego, también llamada altura manométrica (H), reseñar que se compone de la suma de los siguientes términos:

$$H = Hg + \Delta p$$

Dónde:

Hg ... representa la altura geométrica que debe salvar el agua, es decir, en este caso es la profundidad a la que se encuentra el nivel de agua en el pozo más la distancia de la puntera al estanque.

Δp ...es la pérdida de carga del flujo de agua a su paso por tuberías, filtros, válvulas, etc.,

Para obtener el valor de la altura geométrica (Hg), éste coincidirá con la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua en el pozo (a 8 (m) de profundidad, según información del dueño del predio). A este valor habrá que sumarle la variación de nivel que experimente el nivel a medida que el bombeo de agua se desarrolle, o bien, por las variaciones debidas a la estacionalidad (en verano al ser la época seca el nivel de los acuíferos baja).

Con estas consideraciones, se establece que el nivel del agua en el pozo variará de 8 a 12 (m) de profundidad, debiéndose instalar una sonda de nivel que desconecte automáticamente el bombeo de agua cuando el nivel en el pozo baje por debajo de los 12 (m) de profundidad.

En este sentido, la altura geométrica (Hg) que deberá vencer la bomba será, para el caso más desfavorable, de 12 (m)

A esta altura geométrica habrá que sumarle la altura total o de elevación del estanque ya que la puntera se encuentra en un lugar más bajo que la planicie donde se efectuará la plantación, esta altura es de 45 (m) por lo tanto tenemos una altura geométrica total de 57 (m)

El otro término que proporciona la altura manométrica (Hp) de la bomba son las pérdidas de carga que se producen en la instalación. Se calcula con la ecuación de Darcy-Weisbach

Para la obtención de las pérdidas de carga se utilizarán las ecuaciones de Darcy-Weisbach que se presentan a continuación:

$$h_{f\ Reg} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad h_{f\ Sing} = \sum K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Aplicando la ecuación de continuidad de los fluidos $Q = V \cdot A$, despejando la velocidad y reemplazando ésta en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{16 \cdot Q^2}{2 \cdot \pi^2 \cdot g \cdot D^4} = \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

Reemplazando $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ en las ecuaciones de pérdida de carga regular y singular:

$$h_{f\ Reg} = f \cdot \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

$$h_{f\ Sing} = \sum K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

Dónde:

h_f : Pérdidas de carga en la tubería principal (m).

f : Factor de fricción, adimensional.

L : Largo de la tubería principal (m).

D : Diámetro de la tubería principal (m).

g : Aceleración de gravedad (m/s^2).

Q : Caudal en la tubería (m^3/s).

Para conocer el factor de fricción es de vital importancia conocer en número de Reynolds el cual es función de la velocidad y la viscosidad cinemática del agua.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Dónde:

v : Velocidad del agua = 0,0001 (m/s).

D : Diámetro de la tubería = 0,032 (m).

ν : Viscosidad cinemática = $1,007 \cdot 10^{-6}$ (m^2/s) a 20 ($^{\circ}\text{C}$)

Por razones de normalización se estima que el diámetro de la red de alimentación del estanque es de 32 (mm)

Reemplazando se tiene:

$$Re = \frac{0,0829 \cdot 0,032}{1 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 2652,8$$

Debido a que se encuentra en el rango $Re \geq 2600$, de aquí se procede a calcular el factor de fricción con la formula

$$f = 0,005 + \frac{0,4886}{Re^{0,3183}} , \text{ el cual da un valor de:}$$

$$f = 0,044$$

Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería principal:

$Q = 240 \text{ (l/h)}$

$L = 57 \text{ (m)}$

$\text{Diámetro interior} = 32 \text{ (mm)}$

1 codo de 90° $k_s = 0,84$

1 válvula de globo $k_s = 0,72$

1 Filtro de malla $k_s = 1,2$

Salida del fluido $k_s = 1$

$\sum k_s = 3,76 \text{ (m)}$

Ahora reemplazando los datos en la ecuación de pérdidas regulares se tiene:

$$h_{f\ Reg} = f \cdot \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

$$h_{f\ Reg} = 0,044 \cdot \frac{57 \cdot 8 \cdot 0,0001^2}{\pi^2 \cdot g \cdot 0,032^5}$$

$$h_{f\ Reg} = 0,061 \text{ (m)}$$

Ahora reemplazando los datos en la ecuación de pérdidas singular se tiene:

$$h_{f\ Sing} = \sum K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

$$h_{f\ Sing} = 3,76 \cdot \frac{8 \cdot 0,0001^2}{\pi^2 \cdot g \cdot 0,032^4}$$

$$h_{f\ Sing} = 0,00296 \text{ (m)}$$

Se suman ambas pérdidas de carga para así obtener la pérdida total del circuito:

$$\text{Pérdida de carga total} = h_{f\ Reg} + h_{f\ Sing}$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 0,061 + 0,00296$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 0,05916 \text{ (m)}$$

$$\text{Pérdida de carga a lo largo de la cañería } \Delta p = 0,05916 \text{ (m)}$$

Sumando ambos conceptos se obtendrá la altura manométrica total o presión que debe dar la bomba:

$$H = Hg + \Delta p$$

$$H = 57 + 0,05916 = 57,059 \text{ (m)}$$

5.10.2) Cálculo de la potencia requerida.

Para conocer el tipo de bomba a emplear se debe saber cuál es la potencia requerida, es por ello que se utilizará la siguiente ecuación:

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H$$

Dónde:

N: Potencia del fluido (W).

γ : Peso específico del fluido 9800 ($\frac{N}{m^3}$).

Q: Caudal 0,0001 ($\frac{m^3}{s}$).

H: Altura manométrica 57,1 (m).

Ahora reemplazando los valores en la ecuación, se tiene:

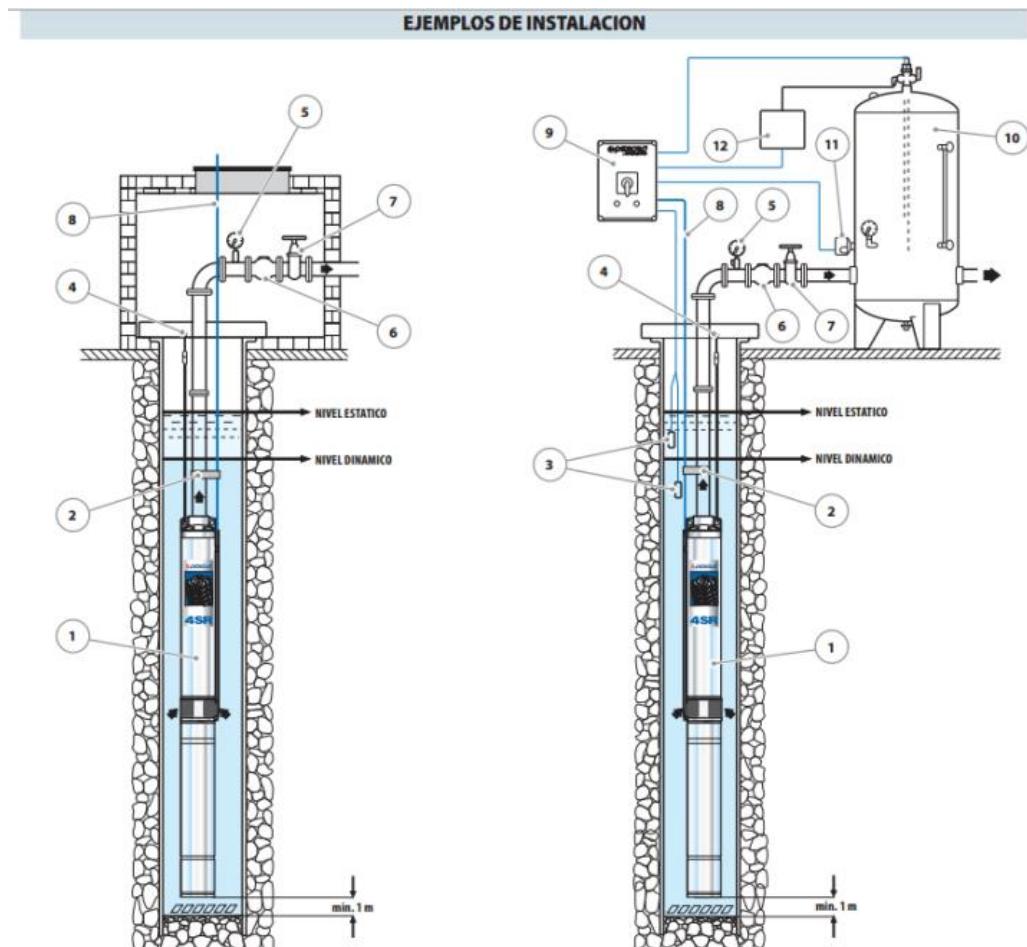
$$N = 9800 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 57,06 = 55,9(\text{W}) \Rightarrow 0,056(\text{kW})$$

Según los requerimientos de caudal 0,24 ($\frac{m^3}{h}$) altura (57(m)) y la potencia necesaria (0,056 (W)) y el tipo de recurso hídrico a utilizar, en este caso se usarán aguas subterráneas, por lo tanto se necesitan bombas sumergibles se procede a buscar la que mejor se ajuste a nuestros requerimientos.

Debido a que el caudal es muy pequeño, por lo cual se sabe que cualquier bomba sumergible sería capaz de cumplir con este requerimiento, entonces el proceso de selección será basado en cumplir con la altura manométrica en que debe ser entregado el fluido, por lo cual en nuestro caso se eligió la bomba sumergible para pozos de 4 pulgadas Pedrollo 4SRm1/13 la cual posee las siguientes características técnicas:

- Corriente Monofásica (220 Volt)
- Origen Italia
- Potencia: 0.5 HP / 0.375 (kW)
- Tipo de Líquido Agua Limpia
- Conexión 1 1/4"
- Con Motor Pedrollo (Italia)
- Diámetro Pozo 4"
- Condensador y salva motor térmico incorporado en el motor
- Cable de alimentación de 20 (m).
- Se aconsejan para el abastecimiento de pozos de agua limpia, incluso con presencia de arena (hasta 150($\frac{g}{m^3}$)).
- Por su elevado rendimiento y fiabilidad se aconsejan para el uso en el sector doméstico, para la distribución automática del agua acoplada a equipos hidroneumáticos, para riegos.
- **Líquido bombeado:** agua limpia con arena máx 150 (g/m³)
- Caudal máximo hasta 1,8 ($\frac{m^3}{h}$)
- Altura manométrica hasta 77 (m)
- Temperatura máxima del fluido hasta +35 (°C)
- Contenido de arena máximo 150 ($\frac{g}{m^3}$)
- Profundidad de utilizo hasta 60 (m) bajo el nivel del agua
- Funcionamiento en vertical y horizontal
- Arranques/hora: 20 con intervalos regulares
- Funcionamiento continuo S1

Figura N° 5.4
Bomba Sumergible 4 pulgadas Pedrollo 4SRm1/13

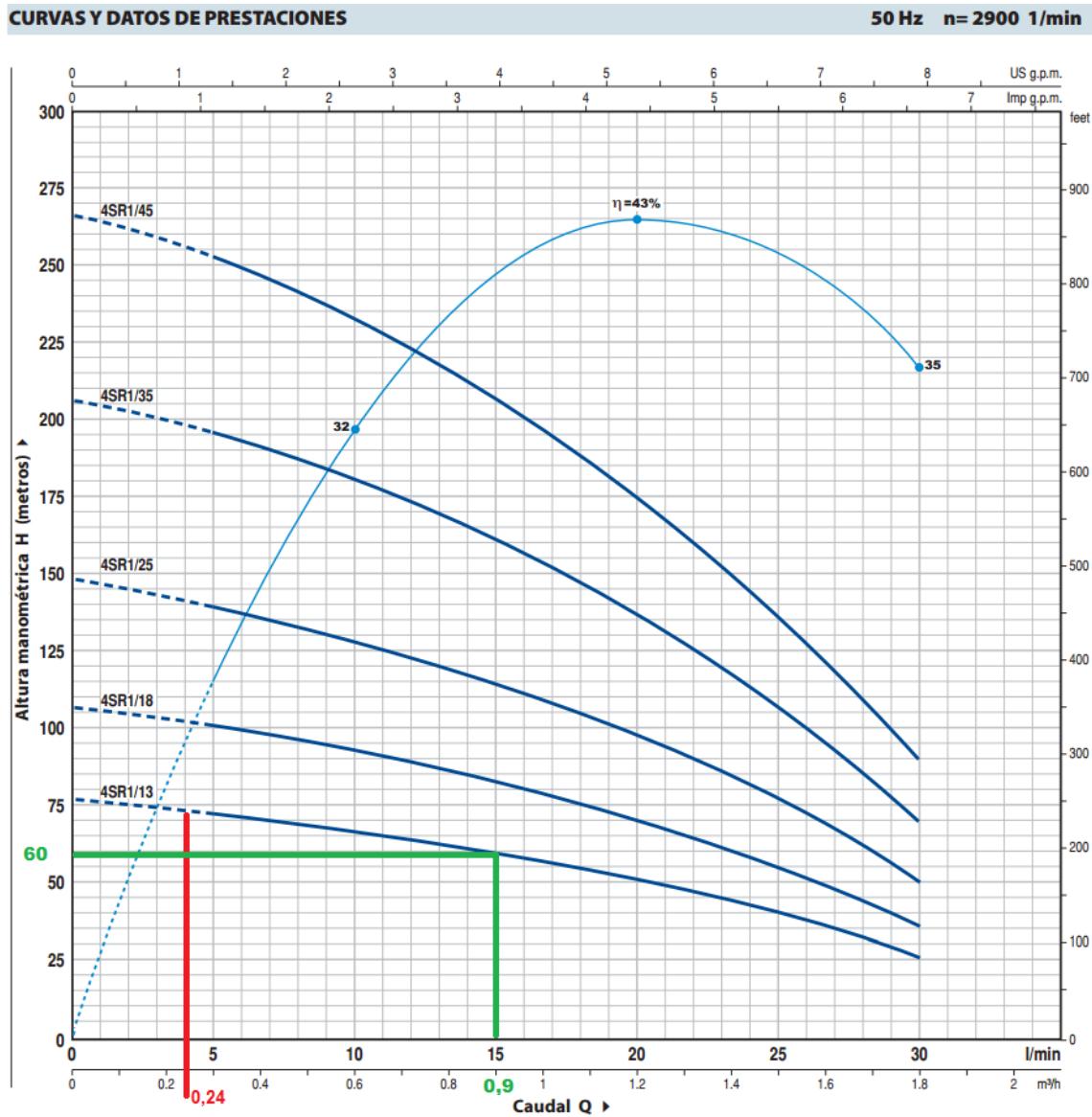
**COMPONENTES**

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1) Electrobomba sumergida | 8) Cable de alimentación eléctrica |
| 2) Cintas para fijar el cable de alimentación | 9) Cuadro eléctrico |
| 3) Sondas control nivel contra la marcha en seco | 10) Depósito autoclave |
| 4) Abrazadera de anclaje | 11) Presostato |
| 5) Manómetro | 12) Electro-válvula/electro-compresor |
| 6) Válvula de retención | |
| 7) Válvula de compuerta del caudal | |

Fuente: <http://sealing.cl/bombas-para-pozo/697-sumergible-pedrollo-4sr2m-7.html>

Grafico 5.1

Curva característica de la bomba



MODELO		POTENCIA		Q l/min	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	5	10	15	20	25	30
4SR1m/13	4SR1/13	0.37	0.50	H metros	77	73	67	60	51	40	26
4SR1m/18	4SR1/18	0.55	0.75		107	101	93	83	71	55	36
4SR1m/25	4SR1/25	0.75	1		148	140	129	115	98	77	50
4SR1m/35	4SR1/35	1.1	1.5		206	197	182	161	136	107	70
4SR1m/45	4SR1/45	1.5	2		266	254	234	207	176	137	90

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

Fuente: <http://sealing.cl/bombas-para-pozo/697-sumergible-pedrollo-4sr2m-7.html>

El caudal estimado que entregará la bomba para una altura aproximada de 60 m es de 0,9 m³/h es con este caudal que se llenará el estanque cuando sea necesario.

Obviamente la bomba está muy sobredimensionada, pero en primera instancia no se encuentra comercialmente una bomba de menor capacidad.

En consecuencia la bomba seleccionada se puede utilizar, con el propósito de aumentar la producción de hortalizas o con otros fines particulares, esto según el requerimiento del agricultor.

ANEXO 6

SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO

Actualmente la posibilidad de producir hortalizas de una mejor calidad es de gran importancia, ya que las exigencias del mercado, la sanidad de los cultivos, la optimización del agua, la falta de nutrientes en el suelo y la competencia han llevado a incursionar en nuevos sistemas, y que generen mayor rentabilidad, es por eso que las técnicas hidropónicas de cultivo se han ganado un espacio alrededor del mundo.

Lo que se propone en este proyecto es una técnica de cultivo sin tierra que permite optimizar el espacio y todos los recursos que se requieren para el cultivo, el cual tiene como finalidad reducir el consumo de agua, y de producir alimentos de excelente calidad a un menor costo.

En este caso vamos a trabajar con “*Lactuca sativa*” más conocida como lechuga, este proyecto es flexible ya que puede adaptarse a cualquier tamaño de área que se desee tener, con sus respectivas modificaciones en cada caso.

Hidroponía

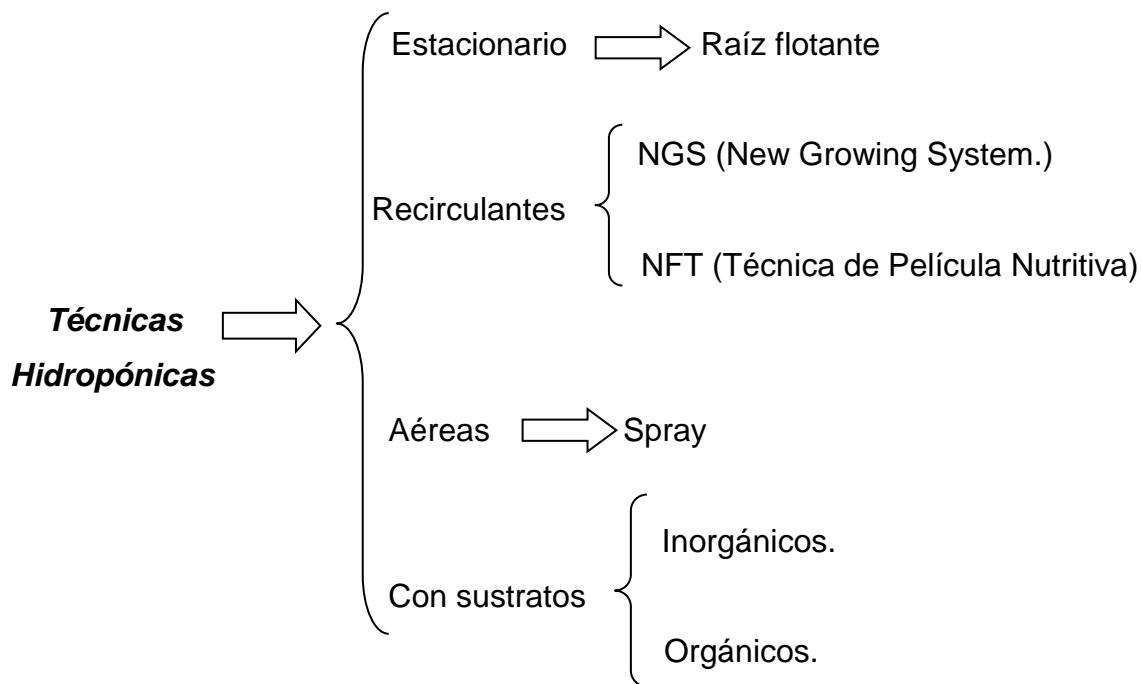
La hidroponía es un conjunto de técnicas que sustituye el suelo y que significa trabajo en agua, donde los cultivos son alimentados mediante una solución de nutrientes minerales (sales minerales y fertilizantes) que se les suministra por medio de esta.

Esta técnica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional (precocidad), favorece un ahorro considerable en el uso del agua en la época de verano, es económica y eficiente. Por otra parte, disminuyen las enfermedades de la raíz de los cultivos, lo que reduce drásticamente la aplicación de plaguicidas, lo cual permite al productor obtener cosechas de buena calidad y libres de elementos tóxicos. Es importante resaltar la protección al medio ambiente con el uso de esta técnica, ya que optimiza el recurso hídrico y no se erosiona ni desgasta el suelo por el repetitivo uso de plantaciones en un mismo lugar.

6.1) Métodos hidropónicos

Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de sustrato, como grava, arenas, poliestireno expandido, piedra pómez, serrines, arcillas expansivas, carbones, cascarilla de arroz, a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el precoz crecimiento y desarrollo de la planta.

Existen técnicas de cultivo hidropónico, las cuales se podrán ver en el siguiente esquema.



A continuación se realiza una descripción de las técnicas de mayor uso en la industria agrícola, cabe señalar que dentro de estas técnicas, el proyecto se centrara en el sistema Hidropónico de manera específica en el NFT (Técnica de Película Nutritiva).

- **Raíz flotante:**

Técnica para cultivos pequeños, consiste en cultivar plantas en superficies, que se mantienen flotando en contenedores con solución nutritiva donde es oxigenada de manera frecuente.

- **NFT (Nutrient Film Technique):**

Técnica donde el agua recircula a través de tuberías, suministrando solución nutritiva que fluye de manera continua a las raíces de las plantas manteniéndolas siempre húmedas, oxigenadas y en constante desarrollo.

- **Sistema aéreo:**

Técnica que hace crecer las plantas, pulverizando las raíces con una solución nutritiva.

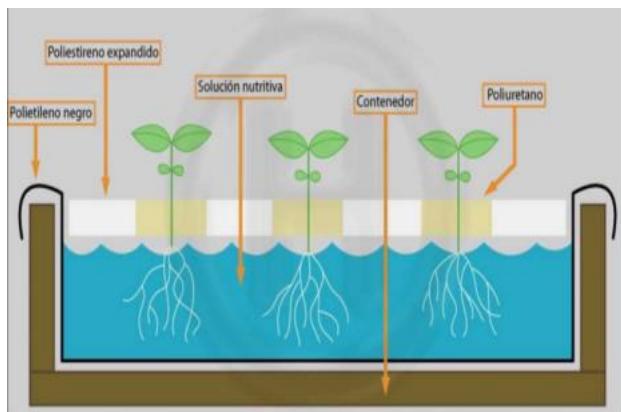


Figura N° 6.1
Sistema de cultivo hidropónico con raíz flotante
6.2) Ventajas y desventajas en el uso de la hidroponía



Figura N° 6.2
Sistema de cultivo Aeroponico

Tabla N° 6.1
Cuadro de ventajas en hidroponía.

Ventajas técnicas	Ventajas económicas	Ventajas ambientales
Disminuye el consumo hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de contaminación con plaguicidas.
Disminuye el periodo vegetativo, aumentando el número de cosechas por año.	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia del control de maleza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de zonas desérticas inutilizadas para agricultura tradicional.
Más altos rendimientos por unidad de superficies.	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo en control de plagas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede utilizar en espacios urbanos.
Alto control del pH.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precio y calidad de la cosecha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede utilizar subproductos como sustratos.
Humedad uniforme	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden producir varias cosechas al año. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran ahorro del consumo de agua.
Mejor drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • No hay gasto de maquinaria agrícola (no requiere de arado ni implementos para suelo). • La recuperación de lo invertido es a corto plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor limpieza e higiene.

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° 6.2
Cuadro de ventajas en hidroponía.

DESVENTAJAS
• Costo inicial alto
• Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición
• Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo
• Se requiere agua de buena calidad

Fuente: elaboración propia

Tabla 6.3
Comparativa de cultivos tradicionales versus sin suelo.

	Sobre Suelo	Sin Suelo
Nutrición de Planta	Muy Variable Difícil de Controlar	Controlada, estable Fácil de chequear y corregir
Espaciamiento	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio y la luz
Control de Malezas	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes
Enfermedades y Patógenos del suelo y nematodos	Enfermedades del Suelo	No existen Patógenos del suelo
Agua	Plantas sufren estrés Ineficiente uso del Agua	No existe estrés hídrico Pérdida casi nula

Fuente: Universidad de OSAKA, Japón, JICA, Curso de Horticultura Protegida 1998

6.3) Sistema hidropónico NFT (nutrient film technique)

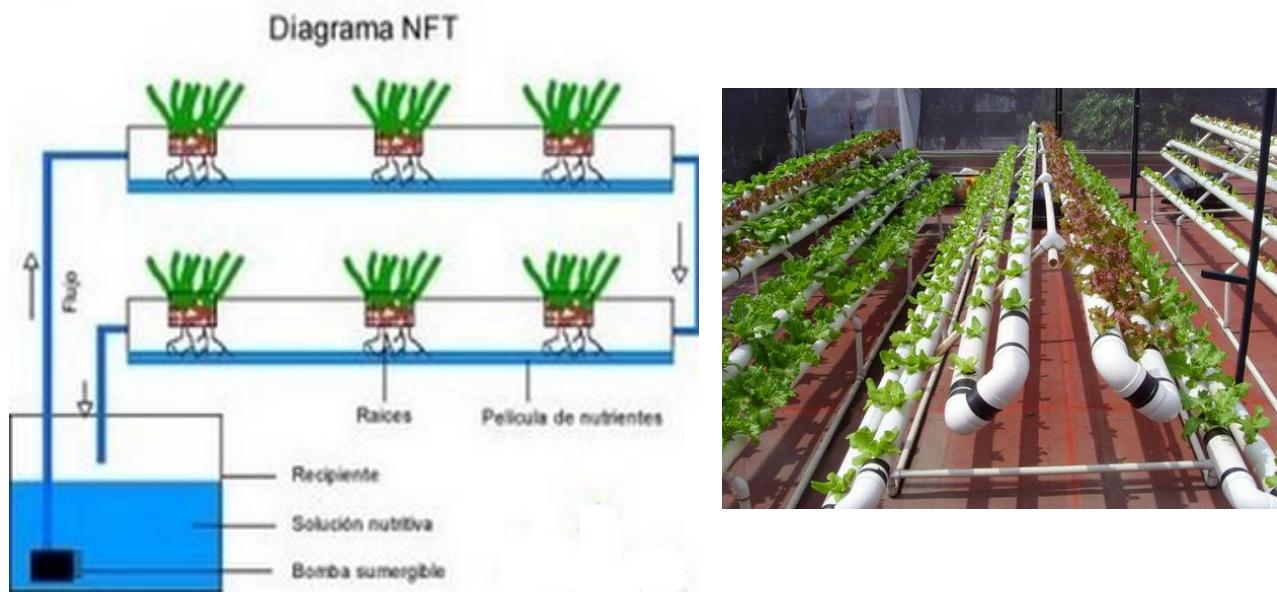
El sistema de NFT (Nutrient Film Technique) o "la técnica de película nutritiva", es el sistema hidropónico re circulante más popular para la producción de cultivos alrededor del mundo. Este sistema desarrollado en la década de los sesenta por el Dr. Allan Cooper en Inglaterra, siendo destinado principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad en invernaderos, de esta manera es la más utilizada en países árabes, del Caribe y América Latina.

El sistema NFT se basa fundamentalmente en excitar el desarrollo de las hortaliza en múltiples canales de PVC dispuestos en zig zag, llamados canales de cultivo, donde pasa un bajo caudal, permanente y con una pequeña cantidad de solución nutritiva la cual fluye por las raíces de las plantas manteniéndolas nutritidas, hidratadas, oxigenadas y de esta manera en constante desarrollo.

En los canales de cultivos cada canal contiene agujeros, donde se colocan las plantas, estos canales están apoyados sobre alguna estructura (caballetes, mesas etc.) que pueden tener una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución nutritiva, dependiendo del diseño del sistema.

La solución es recolectada y almacenada en un recipiente ya sea cubeta o un tanque (esto depende de los litros de solución nutritiva) a través de una bomba que permite la circulación de la solución por los canales de cultivo.

En general este sistema está catalogado como de elevado costo, requiere del suministro de un volumen de agua constante, y para ello se gasta energía en el proceso de bombeo. El sistema consta de tubos de distribución, un tanque de almacenamiento de la solución, tanques de formulación y una bomba que contemple las necesidades del sistema.



Figuras N° 6.3
Sistema de cultivo NFT

6.3.1) Elementos del sistema NFT

Los elementos esenciales del sistema utilizado constituyen los siguientes:

- Estanque colector
- Canales de cultivos
- Bomba
- Red de distribución

e) Sustancia nutritiva

f) Canastilla.

a) Estanque colector:

La función de este elemento es almacenar la solución nutritiva, para poder distribuir hacia los cultivos. Existen varios tipos de estanques pero su elección está basada en el tipo de material, tamaño y aislación, se recomienda que su material sea de PVC o de fibra de vidrio tratado para sustancias tóxicas, aunque se puede usar estanques de metal o asbestos pero recubierto con aislante de polietileno y aislar interiormente con una capa de pintura epoxica.



Figura N°6.4
Estanque colector.

Tabla N° 2.6
Cálculo de la capacidad del estanque según la especie

Especie	Volumen aproximado de solución consumida ($\frac{l_{planta}}{dia}$)(1)	Densidad de plantación ($\frac{planta}{m^2}$)	Capacidad aproximada del estanque ($\frac{l}{m^2}$)(2)
lechuga	0,3	24	9

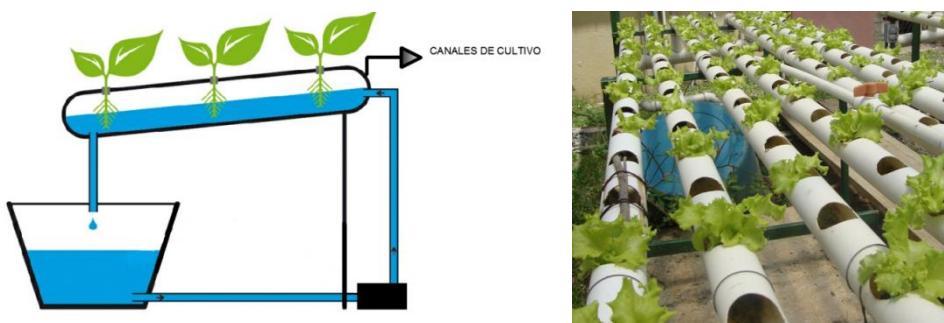
(1) Para una planta en su máximo estado de desarrollo.

(2) Este valor al multiplicarse por la superficie real de cultivo estima el tamaño del estanque. Se considera un 25 (%) más del volumen consumido como volumen remanente.

Fuente: Manual técnico – La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT), FAO Universidad de Talca.

b) Canales de cultivo:

Medio de transporte del fluido (solución nutritiva) para que este pueda llegar a las raíces de las plantas, además es el sostén del cultivo. Los canales, localizados en altura están dispuestos con una pendiente para que el fluido pueda caer por gravedad hacia el estanque colector, oxigenándose. El diámetro de esta tubería debería ser igual o mayor al ancho del canal de cultivo, ya que la acumulación de raíces de las plantas del borde podría taponearla.



Figuras N° 6.5
Canales de cultivo

c) Bomba

La bomba es uno de los componentes más importante en el sistema, ya que es el impulsor del fluido, desde el estanque hasta la parte alta de los canales de cultivo, esta requiere una preocupación especial en cuanto a su elección, mantención y operación.

En el sistema NFT se puede utilizar una variedad de bombas pero destacan las de accionamiento eléctrico de operación sumergida o no sumergida donde las primeras requieren menor energía eléctrica, su costo es varias veces superior a las del segundo tipo por la calidad del blindaje que necesitan para evitar la entrada de líquido, al sistema eléctrico del motor.

Para la elección de la bomba se deben considerar los siguientes aspectos:

- Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo.
- Caudal de operación en relación a la altura manométrica requerida y eficiencia.
- Solidez y calidad de los componentes del motor y bomba.



Figura N°6.6
Instalación de Bombeo

d) Red de distribución.

La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo.

Se utiliza este tipo de materiales que actualmente han desplazado los de aleación metálica, ya que éstos interactúan con los elementos minerales que componen la solución nutritiva. En relación a su dimensión, depende del volumen a transportar a través del sistema, sin embargo como el flujo requerido no supera los 2 a 3 litros por minuto, normalmente el diámetro de las tuberías es de 1 pulgada.

e) Sustancia nutritiva.

La sustancia del sistema hidropónico es el conjunto de compuestos y formulaciones que contiene los elementos esenciales disueltos en el agua, que las plantas necesitan para el desarrollo.

Los elementos esenciales son los macro nutrientes (N,P,K,Ca, Mg) y menor proporción los micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn y Mo).

f) Canastilla.

En el sistema hidropónico la canastilla es el componente que brinda el soporte necesario al cultivo para un buen crecimiento y máximo aprovechamiento de los nutrientes suministrado.



Figura N° 6.7
Canastilla para canal de cultivo

6.3.2) Ventajas y desventajas de sistema NFT.

Tabla N° 6.3
Cuadro de ventajas y desventajas de sistema NFT

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Permite un control más preciso sobre la nutrición de la planta • Simplifica los sistemas de riego, porque elimina la esterilización del suelo y asegura una cierta uniformidad entre los nutrientes de la planta. • Maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva, por lo que el crecimiento de los productos es acelerado, siendo posible obtener en el año más producción. • La instalación resulta sencilla. • Las plantas cosechadas se remueven fácilmente. • Puede operar casi automáticamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Este sistema requiere de un cuidado adecuado del estado de la solución nutritiva para rendir resultados. • Los costos iniciales son mayores que con otros sistemas.

Fuente: elaboración propia.

6.4) Diseño y desarrollo agronómico.

6.4.1) Estudio de necesidades.

a) Topografía del lugar

De acuerdo con el relieve del lugar, se realiza un levantamiento topográfico del sector donde se instalara el invernadero con el sistema hidropónico, con el fin de determinar superficie, forma, pendiente, localización y cotas desde donde se pretende situar el equipo de bombeo, esto último con el objetivo de calcular los requerimientos del sistema.

b) Agua

La disponibilidad del recurso es fundamental en el sistema ya que durante el año el agua, la cual será extraída de napas subterráneas, puede tener variación sobretodo en la estación de verano, es por eso que se debe conocer el terreno para no sufrir déficit hídrico. El abastecimiento de agua del sistema se basara en las necesidades del cultivo.

Aunque el consumo de agua de la lechuga es relativamente alto en métodos tradicionales de riego, el uso de métodos hidropónicos reduce significativamente el uso de ésta para el desarrollo de la planta, como se observa en la Tabla.

Tabla N° 6.4

Comparación de métodos de riego

Método usado	Consumo de agua en el ciclo ($\frac{m^3}{planta}$)
Hidroponía NFT	0,0138
Riego tradicional	0,121

Fuente: centro de biotecnología genómica del IPN 2004.

c) Clima:

El sistema hidropónico no se verá afectado por vientos ni exceso de agua (precipitaciones) esto por estar implementado en un invernadero. Los factores climáticos que puedan tener influencia sobre el sistema hidropónico son la temperatura, humedad y rayos UV (en menor proporción), por lo tanto se necesitará tener un mayor control frente a estos factores.

d) Temperatura.

Es importante mantener las soluciones entre 13 y 15 ($^{\circ}\text{C}$) con el fin de prevenir una absorción reducida de nutrientes, para mantener una temperatura ideal se puede contar con aire acondicionado, enfriadores de agua o ventanas para mantener una regulación que nos proporcione una temperatura óptima.

e) Humedad.

Factor importante dentro del sistema, ya que una mala manipulación de agua puede saturar el cultivo, por lo tanto el aprovechamiento eficiente del recurso y manteniendo una adecuada cantidad y constancia según los requerimientos de la planta son los aspectos fundamentales para que no se saturen y tenga una humedad adecuada.

f) El pH.

Este parámetro debe mantener el rango entre 5,5 y 7, para regular adecuadamente se necesita hacer correcciones, ya sea para acidar o al canalizar la sustancia esto dependerá del requerimiento del cultivo.

Normalmente se mantiene el pH entre 5.5 y 6.5, para la mayoría de los cultivos en invernadero.

g) Conductividad eléctrica

Se recomienda mantener un nivel de Electro conductividad para que las plantas no se deshidraten por exceso de sales o al contrario, absorban menos nutrientes por ausencia de los mismos.

Para un cultivo de lechuga recién establecido (con un estado de desarrollo de 5 hojas verdaderas) el factor de conductividad no debería ser superior a 15.

La medición de la conductividad eléctrica se realiza a través de un medidor portátil o automático.

La unidad de la C.E. es el milisiemens ($\frac{\text{ms}}{\text{cm}}$)

Factor de conductividad (Fc), que se define como:

Factor de conductividad (Fc) = C.E. ($\frac{\text{ms}}{\text{cm}}$) · 10, es decir, un Fc=20 equivale a 2($\frac{\text{ms}}{\text{cm}}$).

h) Oxigenación

El cultivo se oxigena a través de la circulación del fluido por los canales de cultivo y principalmente por la caída abrupta sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce turbulencia y por lo tanto su aireación; otra manera de oxigenar es colocando una bomba de aire en el estanque colector.

6.4.2) Requerimientos del cultivo.

a) Evotranspiración.

La Evotranspiración como se vio anteriormente es la suma de la evaporación más la transpiración del cultivo. Este parámetro calcula la cantidad de agua requerida de acuerdo a lo indicado anteriormente en el anexo 4 (4.2), dado por la ecuación

$$ET_C = ET_O \cdot K_C$$

En el sistema “NFT” la Evotranspiración no suele afectar en gran escala el cultivo, ya que los factores climáticos están controlados por estar en invernadero, pero además al estar sin suelo, la planta se ve afectada por evaporación pero al controlar la temperatura esto afecta disminuidamente.

En el estudio la Evotranspiración será el único dato que se utilizará, los demás datos como coeficiente de cultivo, lámina neta de agua, porcentaje de humedad y datos que tienen que ver con el suelo serán despreciado ya que no es determinante para el fluido ni para el tipo de cultivo.

b) Volumen de agua circulante.

El fluido que pasa por los ductos tiene que ser la cantidad necesaria para el cultivo ya que si aumentamos o disminuimos el volumen las plantas se pueden ver afectadas, por falta de agua o saturación.

El volumen se calcula a través del área del segmento de agua, esto es la cantidad de agua que circula en el interior de la tubería, para ello se debe saber el área del

ducto y la longitud total de la tubería. La ecuación está dada por la siguiente expresión:

$$V_T = S_A \cdot L_T$$

Dónde:

V_T = Volumen total o volumen de agua circulante. (m^3)

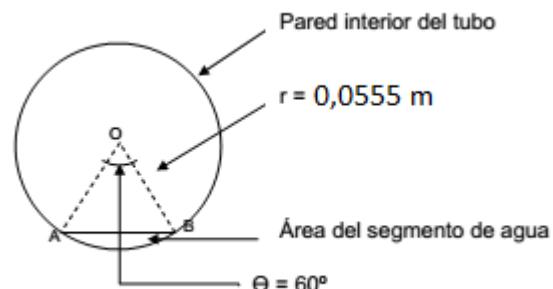
S_A = Área del segmento (m^2)

L_T = Largo total de la cañería. (m)

Para esto se debe saber el área y largo total de la cañería.

Calculando se tiene:

El área de un sector circular es

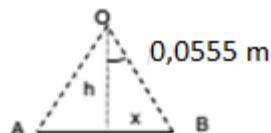


$$S_1 = \frac{\pi r^2 \theta}{360}$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 0,055^2 \cdot 60}{360}$$

Sustituyendo valores, se tiene que el área del sector OAB S_1 es $0,00158 (m^2)$

Luego, para el triángulo OAB



$$\operatorname{Sen} 30 = \frac{x}{0,0555}$$

$$x = 0,02775 (m)$$

Luego, la base b del triángulo OAB es

$$AB = 2x = 0,0555$$

$$\cos 30 = \frac{h}{0,0555}$$

$$h = 0,0480 \text{ (m)}$$

Área del triángulo OAB

$$S_2 = \frac{bh}{2}$$

$$S_2 = \frac{0,055 \cdot 0,0480}{2}$$

$$S_2 = 0,00132 \text{ (m}^2\text{)}$$

Por lo tanto, el segmento de agua para la sección circular es:

$$S_A = S_1 - S_2$$

$$S_A = 0,00158 - 0,00132$$

$$S_A = 0,000263 \text{ (m}^2\text{)}$$

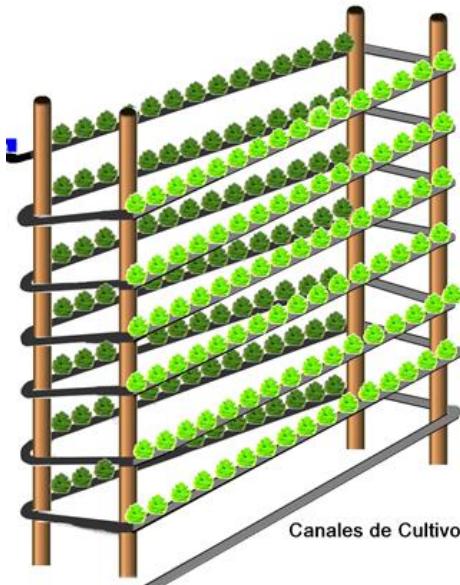


Figura 6.8
Canales de cultivo

El canal de regadío está constituido de 13 tubos de PVC de 4(**m**) de longitud cada uno, más 13 segmentos de 0,30 (**m**) cada uno. Por lo tanto la longitud total de la tubería de cuatro pulgadas es:

$$L_T = (4(m)) \cdot (13) + (0,30) \cdot (13)$$

$$L_T = 55,9 \text{ (m)}$$

Entonces se tiene que el volumen necesario para que toda la cañería posea la cantidad necesaria de agua será el área de segmento de agua mojada por el largo total de cañería:

$$V_T = S_A \cdot L_T$$

$$V_T = 0,000263 \cdot 55,9$$

$$V_T = 0,0147 \text{ (m}^2\text{)}$$

En litros se tiene

$$V_T = 14,7 \text{ litros}$$

c) Porcentaje de Humedad.

El cultivo debe tener un cierto porcentaje de humedad, el cual está dado bajo condiciones y requerimientos de la planta, para la lechuga el porcentaje está entre un 60 a un 80% de humedad esto según investigaciones de la FAO (*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*).

En este parámetro se utilizará un criterio de un 80% de porcentaje de humedad esto basado en los requerimientos de la lechuga.

P_H = 80 (%) de humedad (valor recomendado)

d) Lámina de agua. (Altura de la lámina de la solución nutritiva.)

En el sistema se recircula en forma permanente una lámina fina de solución nutritiva la cual permita la oxigenación de las raíces, el aporte de agua y sales nutritivas durante todo el periodo de cultivo.

La lámina depende del cultivo y de sus características, esta no debería alcanzar una altura superior a los 3 a 4 (**mm**) de agua (*Manual técnico FAO Universidad de Talca*), ya que así favorece a la aireación y oxigenación al cultivo.

e) Longitud de los canales de cultivo.

Para una adecuado contenido de oxígeno se debe considerar un largo máximo de los canales de cultivo de 15 (**m**), las longitudes superiores conlleva a una baja concentración de oxígeno y por ende un menor crecimiento, especialmente en las plantas que están ubicadas en el extremo final del canal.

La longitud de los canales será de 4 (**m**), esto determinado por el requerimiento del diseño según la cantidad de lechugas consideradas.

f) Pendiente de los canales de cultivo.

Para el que sistema NFT fluya cíclicamente, no solamente requiere de una bomba que lleve el fluido desde el estanque hacia la parte más elevada de los canales, si no que a la vez el fluido descienda a través de los canales por gravedad.

El descenso de los canales debe tener una pendiente longitudinal, la cual se recomienda (*Manual técnico FAO Universidad de Talca*) alrededor del 2 (%), una disminución de la pendiente no facilita el adecuado retorno del fluido al estanque colector y afectaría directamente en la lámina de solución, en las pendientes mayores a 4% dificultan la absorción de agua y nutrientes.

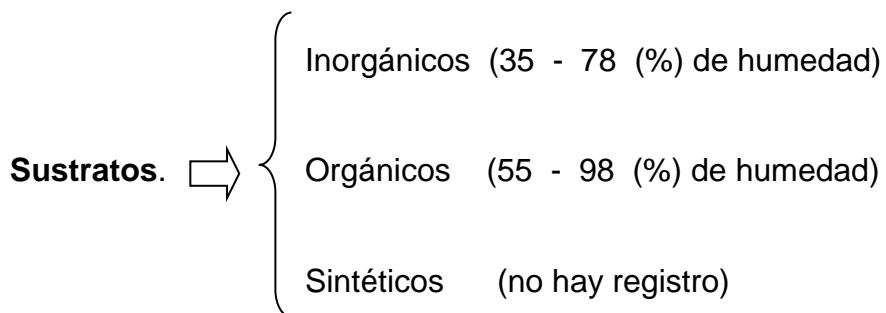
El descenso de los canales tendrá una pendiente del 2 (%) (*recomendado por Manual técnico FAO Universidad de Talca*)

g) Sustrato.

El sustrato es un medio sólido e inerte, el cual protege y da el soporte para el desarrollo de la raíz del cultivo, permitiendo que la solución nutritiva se encuentre

disponible para el desarrollo, este sustrato va introducido en la canastilla en los canales de cultivo. Para seleccionar un sustrato debemos tomar en cuenta la retención de humedad.

Dentro de los sustratos tenemos 3 grupos:



Se utilizará un sustrato orgánico del tipo turba, ya que alcanza un 98 (%) de humedad el cual ayudará a mitigar el consumo de agua, y además por encontrarse en la zona (comercio) con más facilidad.

h) Solución nutritiva y fertilizante.

En el sistema NFT los elementos minerales son aportados por la solución nutritiva a través de fertilizantes que se disuelven en el agua, la elección de los fertilizantes dependerá del sistema hidropónico a utilizar, en este caso como en el sistema NFT el fluido recircula contantemente, la cantidad de nutrientes es la misma por lo cual lo hace más simple; como se dijo anteriormente, los elementos esenciales son los macronutrientes (N,P,K,Ca, Mg, S) y menor proporción los micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn y Mo, Cu).

- Sales minerales solubles

Las sales fertilizantes se caracterizan por su alta solubilidad, y se deben elegir las que se presentan en formas hidratadas.

Tabla N° 6.5
Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía.

Nombre químico	Formula química	Solubilidad (gramos por litros)
Nitrato de calcio.	$\text{Ca}(\text{Na}_3)_2$	1220
Nitrato de potasio.	KNO_3	130
Nitrato de magnesio.	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	279
Fosfato monopotásico.	KH_2PO_4	230
Sulfato de magnesio.	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	710
Sulfato de potasio.	K_2SO_4	111
Sulfato de manganeso.	MnSO_4	980
Ácido bórico.	H_3BO_3	60
Sulfato de cobre.	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	310
Sulfato de zinc.	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	960
Molibdato de amonio.	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	430

Fuente: *Manual técnico – La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT)*, FAO Universidad de Talca.

- Elección de la solución Nutritiva.

Hay que considerar la incorporación mínima de elementos minerales no esenciales para el crecimiento de las plantas (sulfato), ya que la acumulación de estos aumenta la concentración de manera innecesaria y esto puede inhibir la absorción de agua en el cultivo, por lo tanto la formulación elegida debería contener aquellos fertilizantes que aporte en mayor proporción los elementos esenciales y en una reducida cantidad aquellos no deseados.

- Preparación de solución nutritiva.

El sistema NFT mantiene en constante movimiento a la solución, por lo cual se requiere de algo práctico y de fácil manejo; si bien es cierto la solución puede ser preparada mesclando los diferentes fertilizantes, también se puede utilizar soluciones preparadas las cuales son de fácil manejo y traen la cantidad necesaria requerida para el cultivo.

- Duración de la solución nutritiva

La duración en la solución estará directamente relacionada con la limpieza y la oscuridad que esta tenga, es por esto que se trata de mantener el estanque y los tubos cubiertos para reducir la proliferación de algas y la evaporación de la solución, además si se cuenta con artefactos para medir pH y conductividad eléctrica se puede ir monitoreando y cambiar la solución cada 3 o 4 meses, de no ser así la solución se debe cambiar mensualmente.

La solución está determinada según los requerimientos del cultivo, del aporte nutricional que este necesite y de la accesibilidad del agricultor en la zona.

Solución nutritiva a utilizar es PHOSTROGEN. (*Origen inglés*).

Es un polvo de color blanco soluble en agua y de inmediata disponibilidad, tiene una fórmula estable la cual no se deteriora por los efectos de reacciones químicas o evaporación.

Usos:

- En hortalizas, frutas, flores, prados, arbustos, árboles y plantas de interior.
- En almácigos, trasplantes, plantas adultas en macetas, bolsas y jardineras.
- En cultivos hidropónicos se usa solo, sin adicionar ningún otro fertilizante.

Fuente (<http://www.jardisen.cl/>)

Tabla N° 6.6

Composición de 12 elementos esenciales de PHOSTROGEN.

Composición	%
Nitrógeno ($NH_4 + NO_3^-$)	1 y 2
Ácido fosfórico (P_2O_5)	10
Oxido de potasio (K_2O)	27
Trióxido de azufre (SO_3)	7,5
Oxido de magnesio (MgO)	2,5
Hierro (Fe)	0,04
Calcio (Ca)	< 0,025
Boro (B)	< 0,02
Manganeso (Mn)	< 0,02
Cobre (Cu)	0,0055
Zinc (Zn)	0,0055
Molibdeno (Mo)	0,0016

Fuente ((<http://www.jardisen.cl/>)

Aplicación:

- Se aplica disuelto en agua para incorporar el fertilizante mediante el riego.

DOSIS:

Lechugas hidropónicas: entre 1 y 2 gramos de PHOSTROGEN por litro de agua.

- Conductividad eléctrica en cultivos hidropónicos:

LECHUGA: 1.500 a 2.300 ($\frac{\mu S}{cm}$)

Fuente (<http://www.jardisen.cl/>)

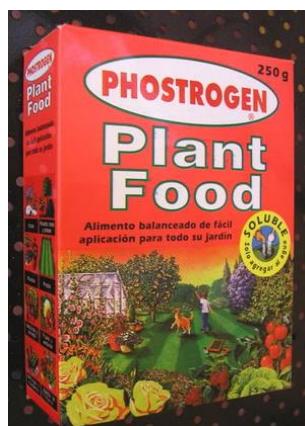


Figura N° 6.8
Sustancia nutritiva Phostrogen.

i) Frecuencia de riego

El sistema NFT se caracteriza por ser un flujo continuo que puede funcionar las 24 horas al día, pero también puede funcionar por un par de horas en la noche y luego en forma continua durante el día.

Si se utiliza un sistema intermitente en una instalación comercial, la detención de la bomba se hace posible por medio del uso de un reloj "timer" al cual se le define previamente el momento de detención y encendido del sistema

6.5) Marco de plantación

- Se requiere regar una plantación de 200 lechugas las cuales estarán distribuidas cada 25 (cm) en tuberías de 4 (m) de largo, se requieren por lo tanto 13 líneas de tubería las cuales tendrán 4 pulgadas de diámetro con un

caudal promedio de $2,5 \frac{l}{min}$ en el sistema, según indicaciones de riego hidropónico con un flujo continuo de riego.

- El área total cultivable será de $14,4 (m^2)$ dispuestos verticalmente, siendo el espacio de superficie de $1,2 (m^2)$

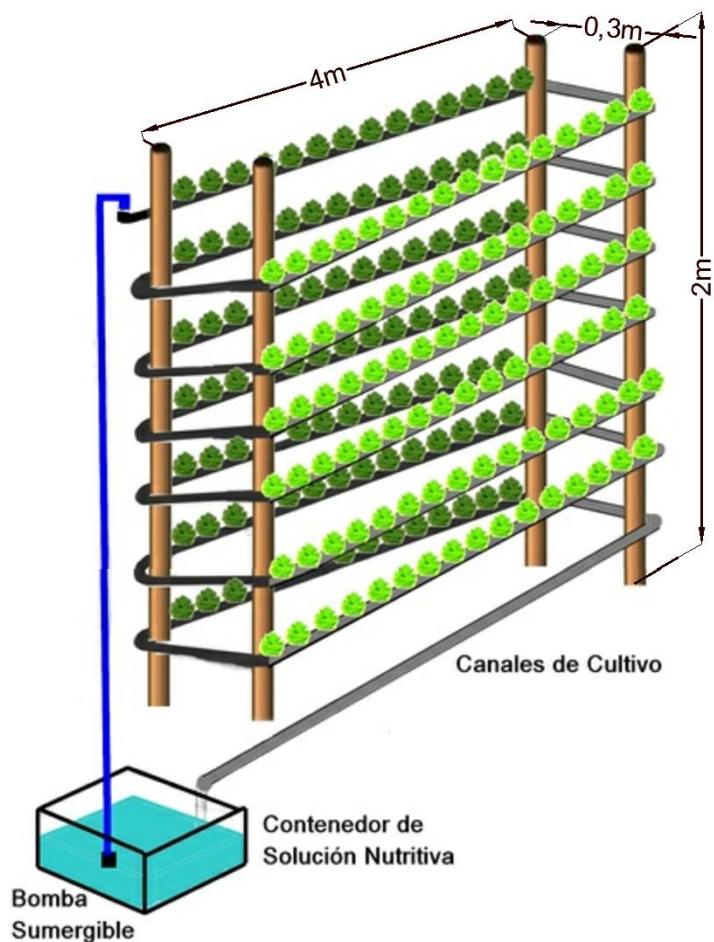


Figura N° 6.9
Esquema de cultivo
NFT

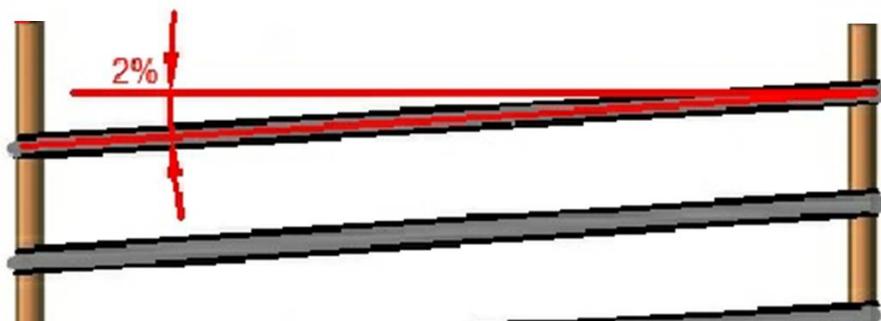


Figura N° 6.10
Disposición de líneas de cultivo

6.5.1) Consideraciones

- Líneas de cultivo no mayores a 15 (m), para aprovechar al máximo el oxígeno, a mayor largo de tubería, disminuye la oxigenación en la parte final de la tubería).
- Flujo constante o intermitente de solución nutritiva
- Cada línea de distribución debe contar de 2-3 litros por minuto para así establecer una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes.
- La pendiente longitudinal debe estar entre el 1 y el 2 (%)
- Recirculación de la solución nutritiva.
- Sistema de filtración
- En cada tubería se introducen las plantas, estando en contacto la solución nutritiva con las raíces flotantes.
- Establecer una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes.
- Una adecuada área de crecimiento, en el interior de la tubería.
- Recirculación de la solución nutritiva.
- Una película de nutriente de 5(mm).

6.5.2) Criterios de diseño

- Se utilizaran bombas sumergibles para el conjunto de serpentines de producción
- La bomba para el circuito deberá proporcionar un caudal que requiere el cultivo

6.5.3) Tubería de la línea de riego.

Se emplea una Tubería de PVC de 4 pulgadas sanitaria Durman las cuales se fabrican empleando compuesto de PVC Rígido Tipo II, Grado I (14333), como lo especifica la norma NTC-369 (ASTM D - 1784), utilizando las técnicas más modernas del proceso de extrusión e inyección y cumpliendo con los requisitos exigidos en la norma NTC-1087 y NTC-1341 respectivamente.

Tabla 6.7 Especificaciones técnicas de tubería de PVC

Diámetro Nominal.		Referencia.		Diámetro exterior Promedio.		Espesor de pared Mínimo.		Peso Metro.
(mm)	(pulgada)	Tubo 5 (m)	Tubo 6(m)	(mm)	(pulgada)	(mm)	(pulgada)	(kg)
48	1 1/2	1110015006	1110016006	48,26	1,900	2,79	0,110	0,6
60	2	1110015007	1110016007	60,32	2,375	2,92	0,115	0,8
82	3	1110015009	1110016009	82,56	3,250	3,18	0,125	1,2
114	4	1110015010	1110016010	114,30	4,500	3,30	0,130	1,8
168	6	1110015011	1110016011	168,28	6,625	4,12	0,162	3,3
219	8	1110015012	1110016012	219,08	8,625	5,33	0,209	5,4

Fuente: www.durman.com

6.5.4) Selección de bomba para el circuito

-Caudal 2,5 (lts/min) por línea de regadío

-Distancia entre planta: 25 (cm).

Calculando el caudal total del sistema. Q total = (2.5 (lts/min)

$$Q \text{ total} = 2,5 \text{ (lts/min)} \left(\frac{1m^3}{1000lt} \right) \left(\frac{1min}{60s} \right) = 0,416 \times 10^{-4} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

La bomba es de baja potencia ya que se necesita que el flujo del líquido sea constante y de baja velocidad, para que los nutrientes sean absorbidos por las plantas, además todas las líneas de distribución cuentan con una pendiente de 2°, esto ayuda a que el fluido circule por el efecto de la gravedad y sin sumar cargas al sistema de bombeo.

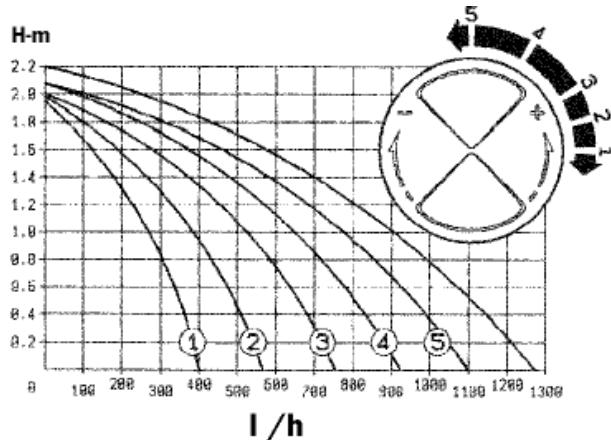
Se buscó una bomba de acuerdo a las necesidades, de baja potencia y de caudal regulable se encontró que la que mejor se ajusta a las necesidades es la bomba sumergible para fuente de agua y jardines ya que prácticamente solo necesitamos hacer recircular la solución con nutrientes.

La bomba seleccionada es: Bomba Sumergible Pileta Idra de 22 Watt

Tabla N° 8.6
Ficha Técnica Bomba Idra

	Idra	
	230V - 50 Hz	120V - 60 Hz
Flow rate	1.300 l/h	306 US gph
Power adsorbed	22 W	22 W
Ampere	0,2 A	0,42 A
Head max	2,2 mt	7 ft
Outlet	ø 20 mm	
Dimensions	86 x 83 x h 72 mm	3.38 x 3.26 x h 2.83"
Cord lenght	1,5 mt or 10 mt	6 ft or 20 ft

Gráfico 1.6
Curva Característica de la Bomba



Fuente: <http://www.sicce.co.uk/idra.htm>

Cabe destacar que la bomba de extracción de agua desde la puntera al estanque del sistema es la misma que se utilizó para el sistema de riego por goteo.

(ver anexo 5 (5.10))

ANEXO 7

ESTIMACION DE COSTOS

7.1) Introducción.

En capítulos anteriores se han nombrado los componentes de ambos sistemas de riego y también la forma en que obtiene a energía para los sistemas de recirculación del agua y sistema de riego por goteo, ahora se realiza una estimación de costos de inversión como también un análisis de las posibles ganancias que ambos sistemas entregarán para su posterior comparación y así poder elegir la alternativa más conveniente.

Para incorporar una de estas técnicas de cultivo como una alternativa productiva de especies hortícolas, primeramente se deberá conocer el valor de inversión requerido, los costos operacionales de producción y la utilidad de la unidad productiva. Permitirá evaluar la factibilidad de obtención de utilidades al corto y mediano plazo.

Para la estimación de costos se ha considerado los siguientes supuestos:

- a). Se cuenta con el terreno e invernadero propio, el cual posee acceso libre y sin costo al recurso agua, la energía eléctrica es obtenida directamente de la red de la CGE
- b). Se asumió, que se cultivará lechuga del tipo "lollo bionda" y se establecerán 200 plantas por cada período productivo en ambos sistemas.
- c). En el sistema Hidropónico NFT Se planea obtener un período de cultivo promedio desde trasplante a cosecha de 35 a 40 días a lo largo del año, por lo que se espera obtener aproximadamente de 8 a 9 cosechas anuales.
- d). En el sistema de riego por goteo se plantea obtener un periodo de cultivo promedio desde la siembra hasta la cosecha entre 50 a 85 días según

indicaciones de la ANASAC por lo que se espera obtener aproximadamente de 4 a e) Cosechas anuales.

- f). Se trabajará con un sistema "NFT", de circulación de 15 minutos cada hora.
- g). Con el objetivo de simplificar el cálculo en este ejemplo, no se han considerado las amortizaciones del capital de trabajo durante la puesta en marcha de la unidad productiva asimismo, no se ha considerado el costo alternativo del dinero.
- h). Se estima que en un gramo de semillas de lechuga hay aproximadamente 800 semillas.

Por otro lado los sobres con semillas que se encuentran en el comercio poseen 5 (gr) de semillas, por lo tanto con un sobre de 5 (gr) se alcanza aproximadamente para 20 cosechas.

7.2) Sistema de riego por goteo.

7.2.1) costos de inversión.

Para establecer una unidad de riego por goteo es necesario considerar los costos de los elementos que componen el sistema, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla 1.7
Costos de componentes del sistema de riego por goteo.

Cantidad	Descripción	Costo Unitario \$	Costo total \$
1	Bomba sumergible PEDROLLO	352.790	352.790
1	filtro de mallas vinilit 1 ¼"	6.721	6.721
40 (m)	Manguera de 32 (1 ¼") (mm)	445	17.800
1	Estanque de 1000 litros (sodimac)	151.490	151.490
2	Codo de 90° de 32 (mm) (vinilit)	522	1.044

1	Válvula de bola	1.726	1.726
10	Tes de 16 (mm)	107	1.070
200	Goteros de inserción autocompensante (vinilic)	283	56.600
4 m	Manguera de 32 (mm)	445	1.780
60 m	Manguera de de 16 (mm)	147	8.820
2	Adhesivos para PVC secado rápido 250 cc	1.769	3.538
1 sobre (5gr)	Semilla de lechuga tipo milanesa	1.390	1.390
1 caja (250gr)	Photrosgen (fertilizante)	3.790	3.790
<u>TOTAL</u>			\$ 608.559

Fuentes:

<http://www.jardisen.cl/parts/lechugas.html>
<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/120209X/Semilla-Lechuga--5-gramos?color=&passedNavAction=>
<http://www.anasacjardin.cl/producto/semillas-de-hortalizas/semillas-de-lechuga-milanesa/>
<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/120209X/Semilla-Lechuga--5-gramos?color=&passedNavAction=>
<http://www.jardisen.cl/parts/hidroponia.html>
http://www.easy.cl/easy/ProductDisplay?mundo=1&id_prod=147442&id_cat=0&tpCa=4&caN0=4178&caN1=7519&caN2=7525&caN3=0
<http://riegopalocalto.cl/index.php/insumos/valvulas/bola/valvula-de-bola-20mm-cem.-73-74-detail>

7.2.2) Utilidad ingresos por ventas en sistema de riego por goteo.

Precios diarios de lechuga Lollo Bionda en el mercado Vega Monumental Concepción (precios nominales sin IVA)

Fecha	Volumen	Precio mínimo	Precio máximo	Precio promedio	Unidad de comercialización
09/12/2014	750	\$ 2.941	\$ 3.365	\$ 3.165	\$/caja 20 unidades

Fuente: ODEPA <http://www.odepa.cl/precios/series-historicas-de-frutas-y-hortalizas/>

Según la siguiente información de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile, el precio de venta por mayor se ha estimado para los efectos de este ejercicio, en \$189 pesos (IVA incluido) por lechuga de buena calidad.

Por otra parte se ha investigado que el precio de venta al público en las ferias libres y en la vega monumental de Concepción en el mes de diciembre del año 2014 varía entre los 300 y 500 pesos la unidad, lo cual nos da una idea de lo que el consumidor puede llegar a pagar si se vende directamente como microempresa.

Bajo esta lógica micro empresarial se puede fijar el precio del producto en \$500 la unidad.

Se estiman un 5 (%) de pérdidas lo que resulta en 190 plantas aptas para la venta por cosecha, lo que permite obtener un ingreso total de \$95.000 por periodo de cultivo.

Se estima tener según el método de cultivo con riego por goteo en el peor de los casos 4 cultivos anuales lo cual nos da un ingreso por venta anual de \$ 380.000

7.2.3) Utilidad primer año en sistema de riego por goteo.

Con la información generada anteriormente es posible estimar la utilidad por cosecha para el primero año, como se muestra a continuación:

$$\text{Utilidad} = \text{ingreso total} - \text{costo total inversión}$$

$$\text{Utilidad} = 380.000 - 608.559$$

$$\text{Utilidad} = \$ - 228.559$$

Se observa que se recupera la inversión dentro de un periodo de 2 cultivos esto es a los 6 meses.

7.2.4) Costos operacionales anuales en sistema de riego por goteo.

Los costos operacionales comprenden los insumos directos de producción.

a) Mano de obra:

Se requiere de una persona que este monitoreando el cultivo constantemente preocupándose de medir el pH de las soluciones, mezclar los nutrientes y revisar el correcto crecimiento del cultivo, se estima que se requiere de unos 15 minutos diarios para inspección del sistema lo cual nos da un total anual de 91,25 horas de mano de obra.

Pero como el proyecto es propio, se ahorra la mano de obra externa, por lo tanto los costos operacionales anuales se reducen a las semillas junto con el fertilizante y la energía eléctrica.

b) Energía Eléctrica:

Para calcular la energía eléctrica que consume la bomba es necesario saber cuánto tiempo esta estará en funcionamiento. Para conocer este dato se debe recurrir a la información del Anexo 4 ya que en el se puede encontrar el tiempo de riego óptimo, y la cantidad de agua necesaria por planta durante el día.

Tenemos entonces:

Un tiempo de riego de $T_{ro} = 1,18(h)$

Un caudal total de 240 litros por hora para un periodo de riego.

(ver Anexo 4 (4.12))

Como se requiere de un tiempo de riego de 1,18 (h), lo que es igual a 1 hora con 10 minutos, por lo tanto la cantidad de agua que se consume en el intervalo de riego es de 280 litros.

La bomba debe ser capaz de satisfacer esa demanda cada vez que el estanque descienda de nivel.

Por otra parte la curva característica de la bomba indica que a menor altura mayor caudal, por lo cual el caudal es variable según la altura en que deba ser entregado el fluido, en este caso para una altura de 60 (m) la bomba es capaz de elevar aproximadamente $0,9 \left(\frac{m^3}{h}\right)$ y como se necesita reponer solo 280 litros lo que es

igual a 0,28 (m^3) a la bomba le bastará con funcionar solo 19 minutos en cada periodo de riego.

Ahora que se tiene el tiempo de funcionamiento de la bomba eléctrica se procede a calcular el consumo energético de la misma.

Se tiene que la bomba seleccionada es de 0,5 (HP) de potencia o 372,8 (Watt) lo que equivale a 0,3728 (kW) que multiplicado por su uso diario 1,18 horas se tiene que la bomba eléctrica consume 0,44 (kWh) diarios. Si se multiplica este valor por los días en que dura de cultivo (80 días) se obtendrá el consumo eléctrico total por periodo de cultivo solo en los días que se debe regar (cada 3 días) se tiene:

$$0,44 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) \cdot 27 \text{ dias} = 11,88 \text{ (kWh)}$$

Es el consumo total de energía por periodo de cultivo, este valor se multiplica por el costo de la energía eléctrica en el sector el cual según la boleta emitida por la CGE es de 120 el (kWh) por lo tanto el costo total en energía eléctrica será de:

$$11,88 \text{ (kWh)} \cdot 120 \left(\frac{\$}{\text{kWh}} \right) = \$ 1.425$$

Costos operacionales Anuales del riego por Goteo			
Insumo	Cantidad requerida	Valor unitario	Valor total
Semillas	1 (gr)	\$ 1.390 (5 gr)	\$ 1.390
Fertilizantes	250 (gr)	\$ 3.790 (250 gr)	\$ 3.790
Mano de obra (propia)	91,25 horas	\$ 5000 (h)	-----
Energía Eléctrica	11,88 (KWh)	120 (\$/KWh)	\$ 1.425
Total			\$ 6.605

Fuente: Elaboración propia.

Luego la utilidad anual desde el segundo año en adelante será de:

Utilidad = ingreso total- costo total inversión

Utilidad = 380.000 – 6.605

Utilidad = \$ 373.395

7.3) Sistema de riego NFT.

7.3.1) Costos de inversión.

Para establecer una unidad "NFT", es necesario considerar los costos de los elementos que la componen y la puesta en marcha del sistema, los cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 2.7
Costos de componentes del sistema NFT.

Cantidad	Descripción	Costo Unitario \$	Costo total \$
1	Bomba sumergible PEDROLLO	352.790	352.790
1	filtro de mallas vinilit 1 ¼"	6.721	6.721
40 m	Manguera de 32 (1 ¼") (mm)	445	17.800
1	Estanque de 1000 litros (sodimac)	151.490	151.490
2	Codo de 90° de 32 mm (vinilit)	522	1.044
1	Válvula de bola	1.726	1.726
1	Bomba sumergible Idra para estanques de 22 (W)	32.990	32.990
3 m	Manguera de ½ " (desde bomba a entrada de cañería)	2.939 (10 m)	881
1	Válvula de bola (reguladora de caudal)	1.726	1.726
4	Postes de madera de 90 x 90 (mm)	11.700	46.800
26	Codos de PVC de 4"	1.190	30.940
13	Tubos de PVC de 4" de 6 (m) de largo	7.190	93.470
1	Estanque de 100 litros(para solución re circulante)	11.990	11.990
4	Bote Pegamento para PVC de 250 (ml)	2.990	11.960
15	Lija de metal N° 100	100	1.500
1	Medidor de PH	31.000	31.000
1	Medidor de CE	38.000	38.000
1	Balanza (precisión 1 gramo) (sodimac)	29.990	29.990
1	Sobre de 5gr semillas lechuga lollo bionda	1.690	1.690
TOTAL			\$ 864.508

Fuentes:

<http://riegopalalto.cl/index.php/insumos/valvulas/bola/valvula-de-bola-20mm-cem.-73-74-detail>

<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/496723/12%22x10-m-Caneria-polietileno-?color=&passedNavAction=push>

7.3.2) Ingresos por ventas en sistema NFT.

Se ha investigado que el precio de venta al público en las ferias libres y en la vega monumental de Concepción en el mes de diciembre del año 2014 varía entre los 500 Y 600 pesos la unidad, lo cual da una idea de lo que el consumidor puede llegar a pagar si se vende directamente al consumidor como microempresa.

Bajo esta lógica micro empresarial se puede fijar el precio del producto a \$500 la unidad.

Se estiman un 3 (%) de pérdidas lo que resulta en 194 plantas aptas para la venta por cosecha, lo que permite obtener un ingreso total de \$116.400 por periodo de cultivo.

Se estima tener según el método de cultivo Hidropónico NFT en el peor de los casos 8 cultivos anuales lo cual da un ingreso por venta anual de \$ 931.200

7.3.3) Utilidad primer año en sistema NFT.

Con la información generada anteriormente es posible estimar la utilidad por cosecha para el primero año, como se muestra a continuación:

Utilidad = ingreso total- costo total inversión

Utilidad = 931.200 - 864.508

Utilidad = \$ 66.692

Se observa que se recupera la inversión dentro de un periodo de dos cultivos esto es a los 3 meses.

7.3.4) Costos operacionales anuales en sistema NFT.

Los costos operacionales comprenden los insumos directos de producción.

a) Mano de obra

Se requiere de una persona que este monitoreando el cultivo constantemente preocupándose de medir el pH de las soluciones, mezclar los nutrientes y revisar el correcto crecimiento del cultivo, se estima que se requiere de unos 15 minutos diarios para inspección del sistema lo cual da un total anual de 91,25 horas de mano de obra.

Pero como el proyecto es propio, se ahorra la mano de obra externa, por lo tanto los costos operacionales anuales se reducen a las semillas junto con el fertilizante

b) Energía Eléctrica:

En este sistema existen dos bombas una para la extracción de agua desde el pozo a un estanque que servirá de fuente de agua y otra bomba pequeña que se utiliza para la recirculación del líquido, para el cálculo de la cantidad de agua gastada solo recurrimos a la evotranspiración de la planta ya que no existen pérdidas en el suelo húmedo ni de escorrentamiento. Recurrimos entonces al Anexo 6 donde se encuentra la cantidad de agua consumida que se aproxima a $0,0138 \left(\frac{m^3}{planta} \right)$ por ciclo de cultivo y tendremos 200 plantas por lo cual tendremos un consumo total por ciclo de cultivo igual a $2,76 (m^3)$ de agua, si dividimos esta cantidad de agua en los 40 días que dura el periodo nos da $0,069 \left(\frac{m^3}{día} \right)$ que es lo que se debe reponer del estanque de almacenamiento.

La bomba debe ser capaz de satisfacer esa demanda cada vez que el estanque descienda de nivel.

En nuestro caso para una altura de 60 (m) la bomba es capaz de elevar aproximadamente $0,9 \left(\frac{m^3}{h} \right)$ y como necesitamos reponer solo 69 litros lo que es igual a $0,069 (m^3)$ a la bomba le bastará con funcionar solo 4,6 minutos.

Por lo tanto la bomba funcionará intermitentemente solo 4 minutos cada día.

Tenemos que la bomba seleccionada es de 0,5 (HP) de potencia o 372,8(Watt) lo que equivale a 0,3728 (kW) que multiplicado por su uso diario 0,066 h tenemos que la bomba eléctrica consume 0,024 (kWh) diarios. Si multiplicamos este valor por los días en que dura de cultivo obtendremos el consumo eléctrico total por periodo de cultivo

Esto es:

$$0,024 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) \cdot 40 \text{ dias} = 0,96 \text{ (kWh)}$$

Es el consumo total de energía por periodo de cultivo, este valor se multiplica por el costo de la energía eléctrica en el sector el cual según la boleta emitida por la CGE es de \$120 el (kWh) por lo tanto el costo total en energía eléctrica será de:

$$0,96 \text{ (kWh)} \cdot 120 \left(\frac{\$}{\text{kWh}} \right) = \$ 115,2$$

La bomba de recirculación trabajara solo de día ya que es cuando las plantas mayormente necesitan más agua, esto es 8 horas diarias.

La bomba elegida posee una potencia de 22 (watt) esto es 0,022 (kW) multiplicado por el tiempo encendida que es de 8 horas continuas da un gasto de 0,176 (kWh) por día, lo cual multiplicado por todo el periodo de cultivo (40 días) nos da un gasto total de 7,04 (kWh)

Según la boleta emitida por la CGE es de 120 pesos el (kWh) por lo tanto el costo total en energía eléctrica será de:

$$7,04 \text{ (KWh)} \cdot 120 \left(\frac{\$}{\text{KWh}} \right) = \$ 844,8$$

Se Suma entonces el gasto en energía eléctrica de ambas bombas
 Bomba de extracción = \$ 208,32 + bomba de recirculación = \$ 844,8 lo cual nos da un gasto total en energía eléctrica de \$1053,12 pesos.

Costo Operacional de producción del Riego por goteo			
Insumo	Cantidad requerida	Valor unitario	Valor total
Semillas	1 (gr)	\$ 1.390 (5gr)	\$ 1.390
Fertilizantes	250 (gr)	\$ 3.790 (250gr)	\$ 3.790
Mano de obra	91,25 (h)	\$ 5000/hora	---
Energía Eléctrica	8 (kWh)	120 (\$/KWh)	\$ 960
Total			\$ 6.140

Luego la utilidad anual desde el segundo año en adelante será de:

Utilidad = ingreso total- costo operacional

Utilidad = 931.200 – 5.295

Utilidad = \$ 925.905

ANEXO 8

Tabla de Evotranspiración potencial mensual

Tabla de Evotranspiración potencial mensual (mm/mes) para diversas comunas
del secano interior VII Y VIII regiones del país.

Comuna	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ETp (mm/año)
Las Cabras	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Chépica	196	153	119	72	42	28	323	47	72	110	144	184	1200
Santa Cruz	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Pumanque	186	146	113	68	40	27	31	45	69	104	137	175	1139
Palmilla	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Peralillo	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Litueche	178	139	108	65	38	26	29	43	66	99	131	167	1088
Marchigüe	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Molina	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Sagrada Familia	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Hualañé	179	141	109	66	39	26	30	47	66	101	132	2169	1100
Rauco	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Talca	193	151	118	71	42	28	32	47	71	108	142	182	1184
Maule	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Empedrado	172	135	105	63	37	25	28	42	66	97	127	162	1056
Parral	196	153	119	72	42	28	32	47	72	100	144	184	1200
Retiro	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
San Javier	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Cauquenes	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Nacimiento	195	153	118	71	42	28	32	47	72	109	143	183	1194
Cabriero	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Yumbel	187	146	113	68	40	27	31	45	69	105	137	176	1143
San Rosendo	189	148	115	69	41	27	31	46	70	106	138	178	1156
San Nicolás	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Quillón	181	142	110	66	39	26	30	44	67	102	133	171	1111
Quirihue	176	138	107	64	38	26	29	43	65	99	129	165	1077
Ninhue	181	142	110	66	39	26	30	44	67	102	133	171	1111
Ranquil	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Contulmo	154	121	94	56	33	22	26	37	57	87	114	145	947
Santa Juana	165	130	101	61	36	24	27	40	61	93	122	156	1014
Florida	172	134	104	63	37	25	28	42	63	96	126	161	1051

Valores derivados de CNR-CIREN (1997)

Fuente: Boletín Técnico N°1 Necesidades de agua de los cultivos - Centro del agua para la agricultura,
Universidad de Concepción.