



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Medioambiente  
Magister en Gestión Ambiental

**Propuesta de un sistema de captación y reutilización de agua  
lluvia como respuesta a la demanda hídrica de un establecimiento  
educacional ubicado en el sector de Laguna Verde, región de  
Valparaíso.**

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR: ANITA MARÍA CATALDO FIGUEROA  
PROFESOR GUÍA: Dr. OCIEL COFRÉ CARVAJAL  
Valparaíso, 2020.

## RESUMEN

La región de Valparaíso se ha visto afectada directamente por la sequía que se debe a la falta de lluvia en el sector. Esto ha generado que la oferta de agua que hay en la región se vea sobrepasada por la demanda, generando problemas de abastecimiento de agua sobre todo en sectores aislados como es Laguna Verde.

Laguna Verde es un sector que se encuentra inmerso en Placilla, Valparaíso y que ha presentado constantes problemas relacionados con el agua potable, tanto de abastecimiento como de calidad de agua. Actualmente muchos pobladores del sector dependen de la llegada de camiones aljibes para acceder al uso de agua potable, lo que implica que el uso de esta debe ser limitado tanto para consumo, como para riego y diversos usos hogareños.

Además, se han realizado estudios por la Universidad de Playa Ancha sobre calidad de agua del Estero El Sauce que es uno de los cuerpos de agua que abastece a Laguna Verde y que desemboca en la Gran Playa de Laguna Verde. En estos estudios se han encontrado variaciones y alteraciones en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, tales como temperatura, oxígeno disuelto, coliformes totales y fecales, afectando directamente la biodiversidad y la salud de las personas.

Debido a esto, se presentó un sistema de captación y reutilización de agua lluvia, con la finalidad de poder generar un ahorro de consumo de agua en la Escuela de Laguna Verde, ya sea utilizando este recurso en riego o consumo animal y, además, generando instancias de gestión mediante la educación ambiental.

El diseño del sistema fue elaborado de acuerdo con la edificación del establecimiento y la ubicación del patio y del huerto de este. Por último, también se pudo realizar un resumen de costos del sistema y un desglose de los materiales a utilizar.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1 EL AGUA.....	14
1.2 RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE.....	14
1.3 PRECIO Y CONSUMO DEL AGUA.....	15
1.4 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS.....	17
1.5 ÁREA DE CAPTACIÓN.....	19
1.6.1 ÁREA DE CAPTACIÓN EN LADERA.....	20
1.6.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN EN LADERA.....	20
1.6.3 CISTERNAS DE ACUMULACIÓN EN LADERA.....	20
1.7 ÁREA DE CAPTACIÓN EN TECHO.....	21
1.7.1 SISTEMA DE RETENCIÓN EN TECHO (CANALETAS).....	22
1.7.2 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN EN TECHO.....	22
1.7.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN TECHO.....	22
1.7.4 Estanques de superficie.....	23
1.7.5 Estanques subterráneos.....	23
1.7.6 Mini tranque.....	23
1.8 UTILIDAD DEL AGUA LLUVIA CAPTADA.....	24
1.9 CULTIVOS.....	27
1.9.1 HUERTOS.....	29
1.9.2 HUERTO ESCOLAR.....	29
1.10 PLACILLA – LAGUNA VERDE.....	30
1.10.1 ESTERO EL SAUCE.....	31
1.10.2 SITUACIÓN HÍDRICA ESTERO EL SAUCE.....	31
1.10.3 CONTAMINACIÓN EN ESTERO EL SAUCE.....	32
1.10.4 ESCUELA DE LAGUNA VERDE.....	33
<b>CAPÍTULO 2 PROBLEMA.....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO 3 OBJETIVOS.....</b>	<b>37</b>

3.1 OBJETIVO GENERAL .....	38
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	38
<b>CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA .....</b>	<b>39</b>
4.1 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA UN HUERTO ESCOLAR .....	40
4.2 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO .....	41
4.3 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA DE UN CULTIVO .....	42
4.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	43
4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA .....	45
4.6 COEFICIENTE DE CULTIVO .....	45
4.7 ETAPAS DEL VEGETAL.....	46
4.7.1 ETAPA INICIAL .....	46
4.7.2 ETAPA DE DESARROLLO DE CULTIVO.....	46
4.7.3 ETAPA DE MEDIDADOS DE TEMPORADA.....	46
4.8 OFERTA POTENCIAL DE AGUA LLUVIA EN EL SECTOR DE LAGUNA VERDE .....	49
4.9 INFORME PLUVIOMÉTRICO .....	50
4.10 RELACIÓN DEL CÁLCULO DE RECOLECCIÓN CON LOS TECHOS DEL ESTABLECIMIENTO .....	51
4.10.1 ÁREA SUPERFICIAL DEL TECHO .....	52
4.10.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA .....	53
4.11 CÁLCULO DE AGUA RECOLECTADA.....	53
4.12 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS .....	54
4.12.1 CAPTACIÓN .....	55
4.12.2 CONDUCCIÓN.....	56
4.12.3 ACUMULACIÓN .....	56
4.13 PROPUESTA A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL DE UN SISTEMA QUE PERMITA LA CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN UN ESTABLECIMIENTO.....	58
4.13.1 Definición del proceso productivo.....	58
4.13.2 Área de captación en techo .....	59
4.13.3 Sistema de retención mediante el uso de las canaletas del establecimiento:.....	60
4.13.4 Sistema de conducción hacia el estanque.....	62

4.13.5 Almacenamiento del agua .....	62
4.13.6 Conducción del agua desde almacenamiento hacia huerto.....	64
4.13.7 Interceptor de primeras aguas .....	65
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
5.1 ESTIMACIÓN AGUA PARA CULTIVOS .....	68
5.1.1 BRÓCOLI .....	70
5.1.2 ZANAHORIA.....	71
5.1.3 LECHUGA.....	72
5.1.4 CEBOLLA.....	72
5.1.5 PAPA.....	73
5.1.6 BERENJENA.....	73
5.1.8 MENTA .....	74
5.1.9 FRESAS.....	74
5.2 RESUMEN DEMANDA DE AGUA MENSUAL .....	74
5.3 ESTIMACIÓN OFERTA DE AGUA EN EL SECTOR DE LAGUNA VERDE .....	75
5.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS .....	78
5.5 PROPUESTA DE SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA .....	94
5.5.1 CAPTACIÓN .....	94
5.5.2 RETENCIÓN .....	96
5.5.3 CONDUCCIÓN.....	98
5.5.4 ALMACENAMIENTO .....	99
5.5.5 CONDUCCIÓN AL HUERTO .....	99
5.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA LA ESCUELA DE LAGUNA VERDE .....	100
5.7 RESUMEN DE COSTOS.....	103
<b>CAPÍTULO 6 DISCUSIÓN .....</b>	<b>105</b>
<b>CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

Anexo 1: .....	117
Anexo 2: .....	118
Anexo 3: .....	120
Anexo 4: .....	122
Anexo 5: .....	123
Anexo 6: .....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n°1: Coeficiente de escorrentía en relación del tipo de superficie. Fuente: Salinas A., 2010. ....	22
Tabla n°2: Límites máximos permitidos de metales en agua potable presentes en la nch 409/01. Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2010. ....	25
Tabla n°3: Límites máximos permitidos de metales en agua potable presentes en la nch 409/01. Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2010. ....	25
Tabla n° 4: Límites máximos de parámetros físicos para agua potable presentes en la nch 409/01. Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2010. ....	26
Tabla n°5: Límites máximos permitidos de parámetros microbiológicos para agua potable presentes en la nch 409/01. Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2010. ....	26
Tabla n°6: Límites máximos permitidos para parámetros físicos y químicos para agua de riego presentes en la nch 1333/78. Fuente: ministerio de obras públicas, 2001. ....	27
Tabla n°7: Agua disponible en suelo para los cultivos. Fuente: Adaptada de: Estimación de la demanda de agua para los cultivos, 2010). ....	40
Tabla n°8: Valores de coeficiente de cultivo. Fuente: adoptado de: Estimación de: La demanda de agua para los cultivos, 2010. ....	47
Tabla n°9: Valores de coeficientes de escorrentía dependiendo material. Fuente: Salinas A.,2010. ....	53
Tabla n°10: Valores coeficiente de escorrentía. Fuente: Salinas A., 2010. ....	60
Tabla n°11: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo del brócoli. ....	71
Tabla n°12: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la zanahoria. ....	72
Tabla n°13: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la lechuga. ....	72
Tabla n°14: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la cebolla. ....	72
Tabla n°15: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la papa. ....	73
Tabla n°16: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la berenjena. ....	73
Tabla n°17: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de tomates. ....	74
Tabla n°18: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la lechuga. ....	74
Tabla n°19: Cantidad de agua en litros necesaria por mes para el cultivo de la lechuga. ....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n° 1: Disponibilidad de agua por habitante en Chile, 2009. Fuente: Banco Mundial, 2011.....	15
Figura n° 2: Oferta y demanda de agua en las regiones de Chile. Fuente: Recursos disponibles y extracciones por usos consuntivos. Fuente: Banco Mundial, 2011. ....	16
Figura n° 3: Variación del precio del agua en últimos años en el sector de Las Cruces, Limache, en peso chileno por m <sup>3</sup> . Fuente: Banco Mundial, 2011.....	16
Figura n° 4: Producción y Facturación en la Región de Valparaíso, en m <sup>3</sup> . Fuente: ESVAL 17	
Figura n° 5: Estructura de los sistemas de captación de agua lluvia.....	19
Figura n° 6: Técnicas para la Captación de Aguas Lluvias. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015....	19
Figura n° 7: Esquema de un sistema de captación y acumulación de aguas lluvias de ladera. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015. ....	21
Figura n° 8: Proceso de funcionamiento de los sistemas de captación de agua lluvia desde techos. ....	24
Figura n° 9: Partes de un sistema de captación de agua lluvia desde techo. Fuente: <a href="https://estoesagricultura.com/captacion-de-agua-de-lluvia-en-techo/">https://estoesagricultura.com/captacion-de-agua-de-lluvia-en-techo/</a> .....	24
Figura n° 10: Ubicación Laguna Verde, Valparaíso. El círculo se encuentra delimitando el sector de laguna verde. Fuente: Google Earth.....	31
Figura n° 11: Ubicación estero El Sauce Fuente: Google Earth .....	32
Figura n° 12: Representación del movimiento del agua en una planta. Fuente: Ecured, transpiración de las plantas, 2013.....	41
Figura n° 13: Proceso de transpiración y evaporación de las plantas. Fuente: Tips y temas agronómicos: Transpiración y evapotranspiración, 2016. ....	42
Figura n° 14: Relación ilustrada entre evapotranspiración de referencia y el factor de cultivo. Fuente: Evapotranspiración de cultivo, 2016.....	43

Figura n° 15: Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados a la evapotranspiración. Fuente: Evapotranspiración de cultivo, 2016 .....	44
Figura n° 16: Representación de las etapas de desarrollo de distintos cultivos. Fuente: Evapotranspiración de cultivo, 2016.....	46
Figura n° 17: Imagen de distribución de hortalizas en un huerto.....	48
Figura n° 18: Vegetales presentes en el huerto. Fuente: Ecojardín, 2015.....	48
Figura n° 19: Vegetales presentes en el huerto. Fuente: Ecojardín, 2010.....	49
Figura n° 20: Esquema representativo de los factores constituyentes del cálculo de recolección de agua.....	52
Figura n° 21: inclinación del techo de la Escuela de Laguna Verde, Valparaíso.....	52
Figura n° 22: Factores en común de los sistemas de captación de agua lluvia.....	55
Figura n° 23: Esquema tipos de captación de agua lluvia. ....	56
Figura n° 24: Esquema tipos de conducción para sistemas de captación agua lluvia. ....	56
Figura n° 25: Esquema de tipos de almacenamientos para agua lluvia. ....	57
Figura n° 26: Representación sistema de captación de agua lluvia a aplicar en proyecto. .	58
Figura n° 27: Representación del área de captación en techo. Fuente: Arkiplus, 2020. ....	59
Figura n° 28: Inclinación del área de captación del establecimiento.....	60
Figura n° 29: Sistemas de canaletas para utilizar como sistema de retención. Fuente: Agrotecnia, 2019. ....	61
Figura n° 30: Sistema de canaletas en establecimiento Laguna Verde.....	61
Figura n° 31: Sistema de canaletas en establecimiento Laguna Verde.....	62
Figura n° 32: Representación de sistema de conducción de agua captada hacia el estanque. Fuente: Agrotecnia, 2019. ....	62
Figura n° 33: Ubicación del estanque de almacenamiento.....	63
Figura n° 34: Ubicación del estanque y del terreno a regar.....	64
Figura n° 35: Dirección desde ubicación del estanque al huerto del establecimiento.....	64
Figura n° 36: Sistema de bombeo para extracción de agua. Fuente: Portalfruticola: construcción sistema de captación y acumulación de agua lluvia para riego, 2017. ....	65

Figura n° 37: Diseño interceptor de las primeras aguas. Fuente: Guía práctica de captación de agua lluvia, 2016.....	66
Figura n° 38: Valores de evapotranspiración referencial de la zona central por meses. Fuente: Evapotranspiración de referencia, Universidad de Chile, 2015.....	68
Figura n° 39: Gráfico representativo de cantidad de agua necesarias por mes de año. ....	75
Figura n° 40: Factores que componen la estimación de agua recolectada. ....	75
Figura n° 41: Área de Captación más cercana al huerto. Fuente: Google Earth.....	76
Figura n° 42: Informe pluviométrico región de Valparaíso mes de noviembre. Fuente: Directemar.....	77
Figura n° 43: Esquema de factores en común de los sistemas de captación.....	78
Figura n° 44: Esquema tipos de captación de agua lluvia. ....	80
Figura n° 45: Representación de barreras para mantener residuos. Fuente: Pinterest, 2020. ....	83
Figura n° 46: Representación de trazado de terreno para instalación del sistema. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015. ....	84
Figura n° 47: Representación limpieza y escarpado. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015....	85
Figura n° 48: Representación de movimiento de tierra. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015....	85
Figura n° 49: Coronaciones con PVC mediante el uso de los polines. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015. ....	86
Figura n° 50: Fusionado de la geomembrada. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015. ....	86
Figura n° 51: Sellado y soldado de la geomembrana. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015....	87
Figura n° 52: Zanja donde se posiciona la geomembrana. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015....	88

Figura n° 53: Área de captación terminada. Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zona rurales de Chile, 2015. ....	88
Figura n° 54: Esquema representativo tipos de acumulación.....	88
Figura n° 55: Representación de acumulación de agua en geomembrana. Fuente: Filmamerica, 2015. ....	89
Figura n° 56: Hidroacumulador de PVC. Fuente: Docplayer, 2017. ....	90
Figura n° 57: Estanque vertical con fibra de vidrio. Fuente: Mecalux, 2020. ....	90
Figura n° 58: Sistemas de acumulación con armado de hormigón. Fuente: Redagricola, 2017. ....	91
Figura n° 59: Estanque vertical de polietileno. Fuente: Sodimac.cl, 2020. ....	92
Figura n° 60: Estanque Australiano. Fuente: Contexto ganadero, 2020. ....	93
Figura n° 61: Partes del sistema a diseñar de captación y almacenamiento de agua lluvia. ....	94
Figura n° 62: Área de captación establecimiento educacional Laguna Verde. Fuente: Google Earth ....	95
Figura n° 63: Distancia del área de captación. Fuente: Google Earth. ....	95
Figura n° 64: Distancia del área de captación. Fuente: Google Earth. ....	95
Figura n° 65: Malla para residuos en canaletas. Fuente: Pinterest, 2020. ....	96
Figura n° 66: Valor malla para canaleta. Fuente: Sodimac, 2020. ....	97
Figura n° 67: Zona de retención del sistema. ....	97
Figura n° 68: Figura A representación del sistema de conducción. Figura B Ubicación sistema de conducción en el establecimiento de Laguna Verde. ....	98
Figura n° 69: Tubería PVC para conducción del sistema. Fuente: Sodimac, 2020. ....	98
Figura n° 70: Estanque de almacenamiento a instalar en el sistema. Fuente: Sodimac, 2020. ....	99
Figura n° 71: Bomba de agua a utilizar para sistema de reutilización de agua lluvia. Fuente: Sodimac.cl. ....	100
Figura n° 72: Diseño de sistema de captación agua lluvia. Perspectiva desde techo. ....	100

Figura n° 73: Diseño de sistema de captación agua lluvia. Perspectiva del sistema de acumulación y huerto.....	101
Figura n° 74: Diseño de sistema de captación agua lluvia. Perspectiva de lado de sistema de conducción y acumulación. ....	101
Figura n° 75: Diseño de sistema de acumulación de agua lluvia, bomba y dirección a huerto. ....	102
Figura n° 76: Sistema de captación y reutilización de aguas lluvias en Escuela de Laguna Verde. ....	102

## **CAPÍTULO 1**

### INTRODUCCIÓN

## **1.1 EL AGUA**

El agua es un compuesto químico, donde el átomo de oxígeno en esta molécula tiene un octeto estable de electrones de valencia. Estos 8 electrones están agrupados en 4 pares, dos de ellos se comporten con los dos átomos de hidrógeno en la molécula de agua visualizándose una esfera con cuatro esferas pequeñas dispuestas alrededor de su superficie tan lejos como sea posible, de hecho, el ángulo formado por dos líneas, uniendo cada centro de un átomo de hidrógeno al centro del átomo de oxígeno en la molécula de agua, es de 105° (Manahan, 2007).

El agua es un recurso que proporciona servicios vitales para la salud humana, los medios de subsistencia y bienestar, y contribuye a la sostenibilidad de los ecosistemas. (UNESCO, 2016) Los recursos hídricos se hacen cada vez más escasos como consecuencia del crecimiento de la población, del desarrollo económico-social y los efectos del Cambio Climático. Una proporción importante de la humanidad no tiene acceso a este recurso, y lo que está disponible muchas veces está contaminado por usos industriales, mineros y por las actividades humanas en general (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).

## **1.2 RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE**

A nivel país la disponibilidad del patrimonio hídrico en Chile es desigual a lo largo del territorio, encontrándose zonas de gran abundancia en la zona sur y escasísima disponibilidad en las regiones del norte (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). Tal como muestra la figura n°1, desde la Región Metropolitana hacia el norte, donde prevalecen las condiciones áridas, la media de disponibilidad de agua está por debajo de los 1000 m<sup>3</sup> habitante<sup>-1</sup> año. Mientras que hacia el sur supera los 10000 m<sup>3</sup> habitante<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Dichos datos se presentan en la figura 1 que representa los datos de disponibilidad de agua por habitante en Chile (Banco Mundial, 2011).

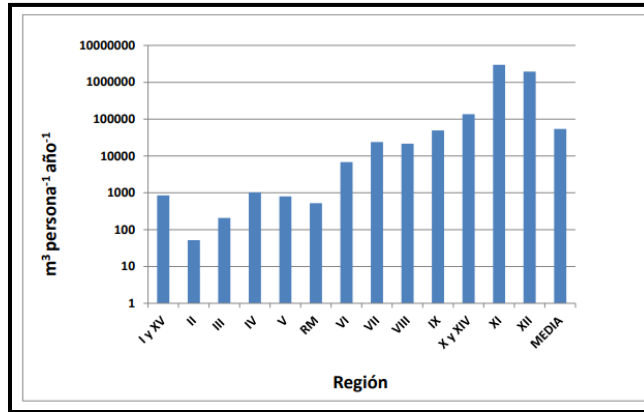


FIGURA N° 1: DISPONIBILIDAD DE AGUA POR HABITANTE EN CHILE, 2009. FUENTE: BANCO MUNDIAL, 2011.

### 1.3 PRECIO Y CONSUMO DEL AGUA

En Chile, los últimos estudios realizados por la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS), revelaron que el consumo de agua por habitante ha disminuido los últimos 10 años. La utilización de artefactos sanitarios más eficientes en consumo, el aumento de precios y la mayor conciencia respecto del gasto de agua no significa que el consumo del agua del país disminuya (Araya, 2015).

En la región de Valparaíso, donde se sitúa este proyecto, la demanda de recurso hídrico supera a la oferta como se puede observar en la figura 2, lo cual significa que hay un déficit del recurso hídrico en relación con la demanda por parte del sector agrícola, industrial y urbano (Estrategia Nacional de recursos hídricos, 2015).

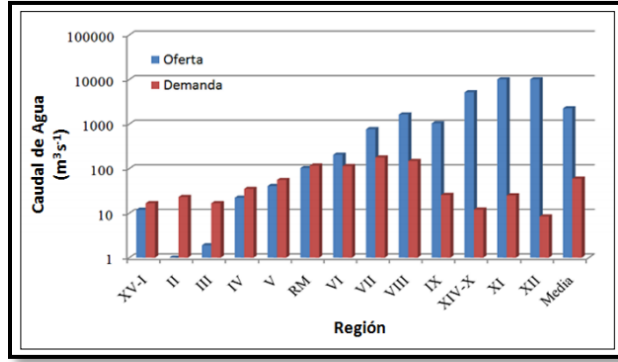


FIGURA N° 2: OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN LAS REGIONES DE CHILE. FUENTE: RECURSOS DISPONIBLES Y EXTRACCIONES POR USOS CONSUNTIVOS. FUENTE: BANCO MUNDIAL, 2011.

Durante los últimos años la sequía que ha afectado a la zona central de Chile ha golpeado fuertemente a la región de Valparaíso en forma de una escasez hídrica sostenida, requiriéndose, para algunos casos, decretar zona de escasez.

El precio del agua a través del tiempo también ha sido un factor para considerar. La Figura n°3 muestra como el precio del agua por metro cúbico ha variado en la comuna de Limache, sector de Las Cruces, según recopilación de datos de las cuentas de agua de la chacra “La Esperanza”. El precio del metro cúbico promedio en relación con los años presentados es de (CLP) \$550,29.

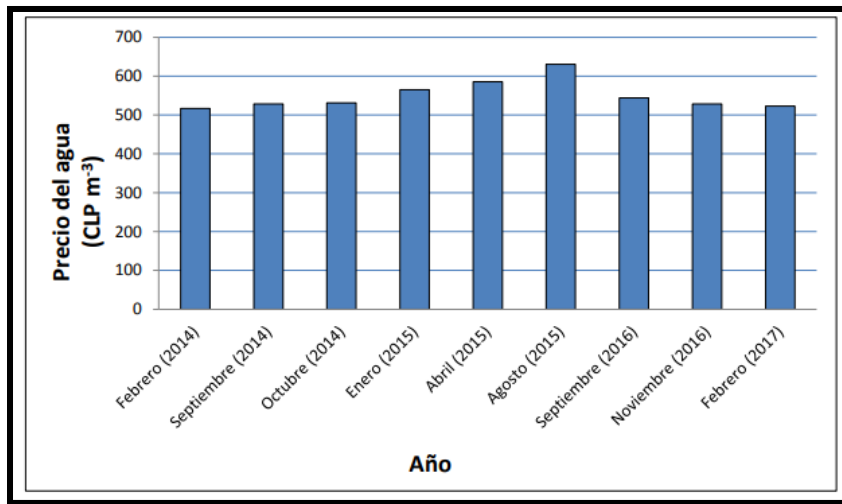


FIGURA N° 3: VARIACIÓN DEL PRECIO DEL AGUA EN ÚLTIMOS AÑOS EN EL SECTOR DE LAS CRUCES, LIMACHE, EN PESO CHILENO POR M<sup>3</sup>. FUENTE: BANCO MUNDIAL, 2011.

El consumo de agua también ha aumentado considerablemente en la región. Si se observa la Figura n°4, la facturación, es decir, el consumo de agua potable facturado, en la región de Valparaíso ha aumentado en los últimos 6 años debido a la demanda por parte de los cada vez más usuarios. No así la producción de agua potable, la cual prácticamente se ha mantenido.

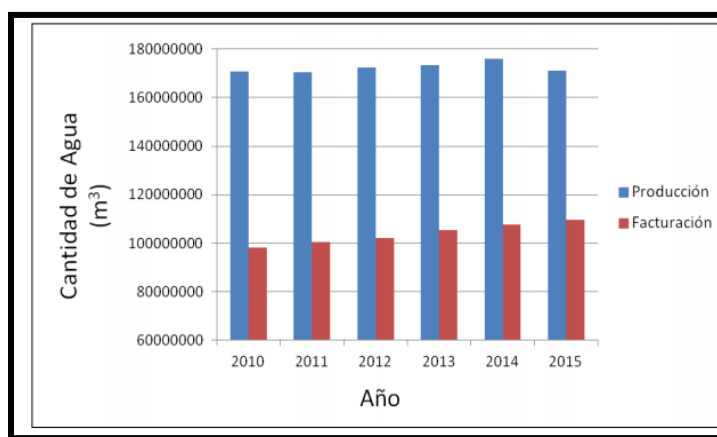


FIGURA N° 4: PRODUCCIÓN Y FACTURACIÓN EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO, EN M<sup>3</sup>. FUENTE: ESVAL

#### 1.4 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Como consecuencia de la escasez hídrica y la prolongada sequía, particularmente en zonas rurales, se ha agudizado la urgencia para asegurar el abastecimiento de agua potable.

Esta situación actualmente se está resolviendo a través del reparto de agua por medio de un sistema de camiones aljibes, que ha involucrado un alto costo a nivel mensual además de otros riesgos asociados como la calidad del agua que se entrega.

De esta manera, los sistemas de captación de agua de lluvia se han transformado en una iniciativa real que permite ampliar la disponibilidad del recurso agua en épocas de crisis y escasez hídrica, especialmente en aquellos sectores que hoy día están siendo cubiertos por camiones aljibes. Estas alternativas de acumulación de agua como concepto básico constituyen una opción sencilla de captación y almacenamiento de agua lluvias, a través de áreas impermeabilizadas y un sistema de almacenamiento (cisternas o estanques) respectivamente. Sin embargo, estos sistemas de captación dependerán de la pluviometría de las zonas en las que se quiera implementar.

Para lograr una eficiencia técnica y económica de estos sistemas, los sistemas de almacenamiento deben ser diseñados y calculados de acuerdo con las áreas de captación de aguas, es decir, deben ser diseñados en forma particular para cada zona en relación con los regímenes pluviométricos y al tipo de superficie impermeabilizada que capturarán los aportes de agua que van a ser almacenados posteriormente (Dr. Reinaldo Ruiz Valdés Delegado Presidencial de Recursos Hídricos, 2015)

Este tipo de sistemas son una forma alternativa de abastecimiento hídrico basado en la captación, almacenamiento y aprovechamiento de las precipitaciones pluviales (agua de la lluvia) para el consumo cotidiano ya sea doméstico, para la agricultura o ganadería (Cosecha agua, 2018).

El sistema de captación de aguas lluvias consiste en recoger mediante canaletas el agua que escurre por los techos los cuales, por su condición impermeable, producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia y al encontrarse en una posición elevada e inclinada, facilita la captación y almacenamiento del agua. Existirán canaletas en la parte inferior del área de captación para recoger la escorrentía del techo la cual pasará a través de una estructura de filtración para ser conducida mediante tuberías al sistema de almacenaje, de donde será retirada para su utilización. (Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2013).

Mediante el esquema de la figura 5 se representan las principales etapas de los sistemas de captación de aguas lluvias.

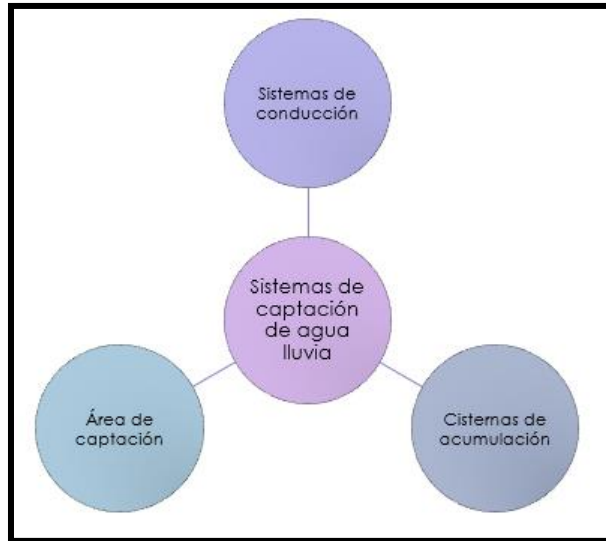


FIGURA N° 5: ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.

### 1.5 ÁREA DE CAPTACIÓN

Existen dos técnicas principales para la captación de aguas lluvias. La primera consiste en despejar una extensión grande de terreno, como la ladera de un cerro y cubrirla con un material impermeable. Estos sistemas son generalmente conocidos como sistemas de captación de ladera. Asimismo, el segundo tipo de técnica de recolección de agua de lluvia atrapa el agua sobre el techo de una casa, desde donde se desvía hacia una cisterna de acumulación. Este tipo de sistema se conoce como sistema de captación de techo. En la figura 6 se muestra la esquematización de ambos tipos de sistema de captación mencionados a continuación.

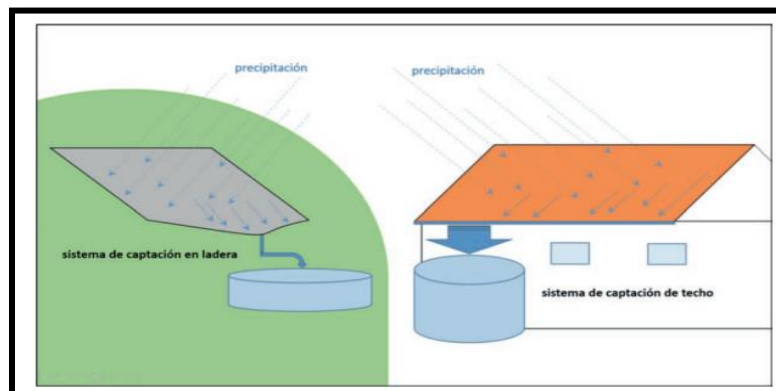


FIGURA N° 6: TÉCNICAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

### **1.6.1 ÁREA DE CAPTACIÓN EN LADERA**

Esta parte de la estructura debe ubicarse idealmente en una ladera desprovista de vegetación, donde cumple la función de capturar el agua proveniente de la lluvia. Para ello, esta área se impermeabilizará y sus dimensiones dependerán de la precipitación de diseño, del coeficiente de escorrentía asociado al material impermeabilizado (geomembrana u hormigón) y del volumen de agua que se quiera almacenar.

### **1.6.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN EN LADERA**

Como su nombre lo indica, conduce por diferencia de gravedad el agua captada desde la superficie impermeabilizada hasta la cisterna de acumulación. Puede incluirse un sistema de decantación de sedimentos con el objetivo de almacenar agua más limpia. En este sentido, existen métodos artesanales simples, como colocar en la boca del tubo conductor una rejilla plástica, que filtra e impide la entrada de sedimentos al estanque acumulador.

### **1.6.3 CISTERNAS DE ACUMULACIÓN EN LADERA**

Corresponde al depósito donde se almacena el agua. Puede ser construida de diferentes materiales, entre los que se pueden mencionar. Además, se presenta en la figura 7 un tipo de cisterna de acumulación en ladera.

- Estanque vertical de fibra de vidrio.
- Estanque vertical de polietileno.
- Estanque tipo australiano.
- Hidro acumulador de PVC.
- Excavación impermeabilizada con Geomembrana y techada.
- Excavación impermeabilizada con hormigón y techada



FIGURA N° 7: ESQUEMA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS DE LADERA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

### 1.7 ÁREA DE CAPTACIÓN EN TECHO

Es la superficie sobre la que cae la lluvia. Las áreas que se utilizan para este fin son los techos de casas habitación, escuelas, bodegas, invernaderos y laderas tratadas con materiales que la impermeabilizan.

Es importante mencionar que no toda la lluvia que cae en un área determinada puede ser capturada y almacenada, debido a pérdidas por infiltración, evaporación y el tipo de suelo. Así, se define al coeficiente de escorrentía como la proporción del agua precipitada que escurre superficialmente. Por ende, en un sistema de captación de aguas lluvias, interesará que ese coeficiente sea lo más cercano al valor 1, con el fin de propiciar la mayor tasa posible de captura del agua caída. De ahí la relevancia de considerar este aspecto, en la construcción del sistema, toda vez que dependiendo del tipo de material utilizado en el área de captación, será posible una mayor o menor captura del agua precipitada.

En la tabla n°1 se presentan los valores del coeficiente de escorrentía en relación con el material del área de captación.

TABLA N°1: COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN RELACIÓN DEL TIPO DE SUPERFICIE. FUENTE: SALINAS A., 2010.

Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0,70 a 0,95
Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.	0,90
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa:	0,05 a 0,35
Terrenos granulares	0,15 a 0,50
Terrenos arcillosos	
Zonas con vegetación media:	0,10 a 0,50
Terrenos granulares	0,30 a 0,75
Terrenos arcillosos	
Tierra sin vegetación	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

### 1.7.1 SISTEMA DE RETENCIÓN EN TECHO (CANALETAS)

Las canaletas se instalan en los bordes más bajos del techo, en donde el agua de lluvia tiende a acumularse antes de caer al suelo. Estas canaletas deben contar con mallas que detienen basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción. Es necesario realizar labores de limpieza al inicio de la época de lluvias. En sistemas comunitarios, se utilizan sedimentadores o estructuras que permitan la separación de los sólidos antes de su ingreso al almacenamiento.

### 1.7.2 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN EN TECHO

Es la tubería que conduce el agua retenida en las canaletas hacia el almacenamiento.

### 1.7.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN TECHO

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para cubrir las necesidades de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía.

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes (Guía de diseño para captación del agua lluvia, 2009):

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.

A continuación, se presentan los tipos de estanque que se pueden utilizar para la acumulación de agua lluvia.

#### **1.7.4 Estanques de superficie**

Estanques verticales para la acumulación de agua, fabricados de PVC, livianos y con tapa, poseen filtro UV y tratamiento anti-algas. Existen estanques rígidos y flexibles.

#### **1.7.5 Estanques subterráneos**

Los hay de distintos materiales y dimensiones. Permiten almacenar mayores volúmenes de agua y al estar enterrados favorecen la conservación del agua en buen estado.

#### **1.7.6 Mini tranque**

Los hay de distintos materiales y dimensiones. Permiten almacenar mayores volúmenes de agua y al estar enterrados favorecen la conservación del agua en buen estado (Cosecha agua, 2018).

En la figura n°8 se presenta el proceso general de funcionamiento de los sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias desde techos.

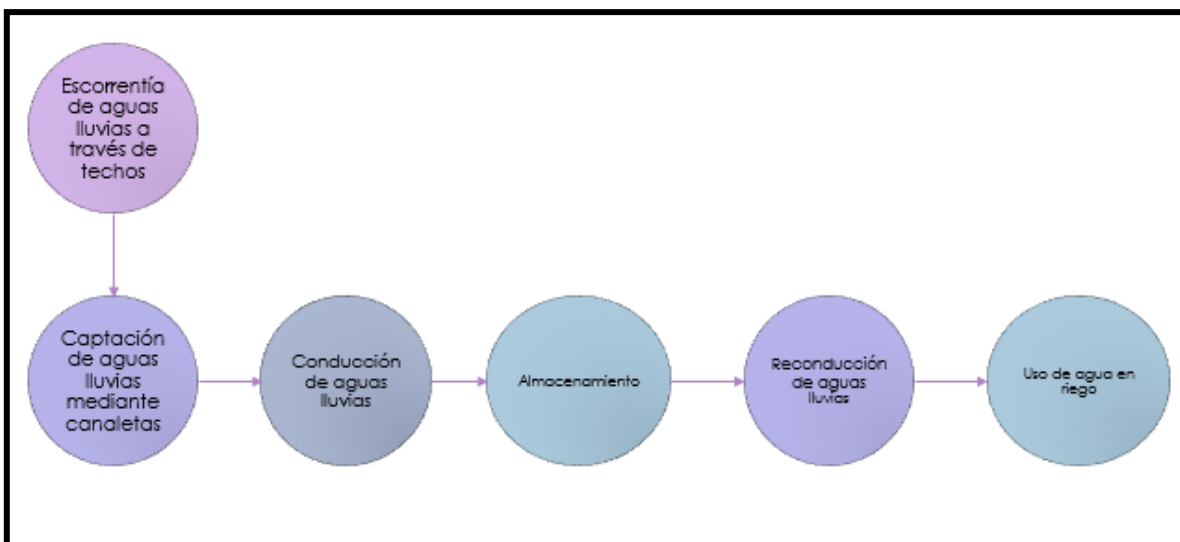


FIGURA N° 8: PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA DESDE TECHOS.

El sistema para diseñar será con captación desde el techo del establecimiento ubicado en Laguna Verde en la región de Valparaíso, basándose en el esquema presentado en la figura n°9.



FIGURA N° 9: PARTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA DESDE TECHO. FUENTE: [HTTPS://ESTOESAGRICULTURA.COM/CAPTACION-DE-AGUA-DE-LLUVIA-EN-TECHO/](https://estoesagricultura.com/captacion-de-agua-de-lluvia-en-techo/)

## 1.8 UTILIDAD DEL AGUA LLUVIA CAPTADA

El Agua captada por el sistema puede ser utilizada como agua para consumo animal, como agua de riego y potable siempre y cuando cumpla con las normas correspondientes.

Las Tablas 2 a la 6 indican los límites máximos para los parámetros que constituyen las NCH 409 y NCH 1333 correspondientes a las normativas vigentes para agua potable y riego, respectivamente. Todas las tablas incluyen los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, unidades de medida y límites máximos permitidos.

TABLA N°2: LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS DE METALES EN AGUA POTABLE PRESENTES EN LA NCH 409/01. FUENTE: SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO, 2010.

Elemento	Unidad de expresión	Límite máximo
Cobre	mg/L Cu	2,0
Cromo total	mg/L Cr	0,05
Fluoruro	mg/L F -	1,5
Hierro	mg/L Fe	0,3
Manganeso	mg/L Mn	0,1
Magnesio	mg/L Mg	125,0
Selenio	mg/L Se	0,01
Zinc	mg/L Zn	3,0

TABLA N°3: LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS DE METALES EN AGUA POTABLE PRESENTES EN LA NCH 409/01. FUENTE: SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO, 2010.

Elemento o sustancia	Unidad	Límite máximo
Arsénico	mg/L As	0,01
Cadmio	mg/L Cd	0,01
Cianuros	mg/L CN	0,05
Mercurio	mg/L Hg	0,001
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub>	50
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub>	3
Razón nitrato + nitrito	--	1
Plomo	mg/L Pb	0,05

TABLA N° 4: LÍMITES MÁXIMOS DE PARÁMETROS FÍSICOS PARA AGUA POTABLE PRESENTES EN LA NCH 409/01. FUENTE: SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO, 2010.

Parametros	Unidad	Límite máximo
<b>Físicos</b>		
Color verdadero	Pt/Co	20
Olor	-----	Inodora
Sabor	-----	Insípida
<b>Inorgánicos</b>		
Amoníaco	mg/L NH <sub>3</sub>	1,5
Cloruros	mg/L Cl -	400
pH	-----	6,5 – 8,5
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	500
Sólidos disueltos totales	mg/L	1500
Turbidez	NTU	4,0
<b>Orgánicos</b>		
Compuestos fenólicos	µg/L Fenol	2

TABLA N°5: LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS PARA AGUA POTABLE PRESENTES EN LA NCH 409/01. FUENTE: SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO, 2010.

Parámetros	Unidad	Límite máximo
Coliformes totales	NMP/100 ml	5
Escherichacoli	---	Ausencia

TABLA N°6: LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA AGUA DE RIEGO PRESENTES EN LA NCH 1333/78. FUENTE: MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2001.

Parámetros	Unidad	Ref.NCH 1.333
Temperatura	° C	V. N. + 3
pH	---	5,5 – 9,0
Conductividad	μS/cm	< 750
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	> 20,0
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Ba	(Ba) mg/L	4,00
Berilio (Be)	mg/L	0,10
Boro (B)	mg/L	0,75
Cadmio (Cd)	mg/L	0,010
Cianuros (CN -)	mg/L	0,20
Cloruros (Cl -)	mg/L	200,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,050
Cobre (Cu)	mg/L	0,20
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000
Coliformes totales	NMP/100 ml	S/N
Color verdadero	Unid. Pt/Co	100,0
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	1,00
Hierro (Fe)	mg/L	5,0
Litio (Li)	mg/L	2,50
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,010
Niquel (Ni)	mg/L	0,20
Oxígeno disuelto	mg/L	> 5,0
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	5,00
RAS	--	S/N
Selenio (Se)	mg/L	0,020
Sodio porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250,0
Turbiedad	NTU	50,0
Vanadio (V)	mg/L	0,10
Zinc (Zn)	mg/L	2,0

## 1.9 CULTIVOS

En Chile, durante la temporada 2017/2018 la superficie de siembra de cultivos anuales tuvo un leve aumento respecto de la temporada anterior, alcanzando un total de 696.341 hectáreas.

Los mayores incrementos en superficie fueron los cultivos de cebada, trigo candeal, arroz, leguminosas, garbanzo y lenteja. Los cultivos que disminuyeron su siembra fueron principalmente avena, papa y poroto (Panorama de la agricultura chilena, 2019).

Los cultivos más importantes a nivel nacional continúan siendo el trigo, avena, maíz, raps y arroz, que en conjunto representan el 75% de la superficie total. La superficie sembrada con cultivos anuales se concentra en el sur del país: en la temporada 2017/2018 el 45% de las siembras se realizó en la Región de La Araucanía, el 15% en la Región del Maule y un 12% en cada una de las regiones de Ñuble y Biobío

En el caso del cultivo de trigo, el 45% de las siembras se realizan en La Araucanía, porcentaje que llega al 75% si se consideran además las regiones de Ñuble y Biobío. Algo similar ocurre con los cultivos de avena y cebada. La Región de O'Higgins tiene la mayor proporción de la superficie de maíz (43%), seguida por las regiones de Maule y Biobío. En el caso de la cebada, la superficie sembrada con cebada cervecera prácticamente se amplía con respecto a años anteriores. Las siembras de papa están más dispersas en el territorio, aunque se concentran en el sur del país; entre las regiones del Biobío y Los Lagos se siembra el 67% de la superficie nacional. El raps se concentra en las regiones del Biobío y La Araucanía, que reúnen el 80% de las siembras (Panorama de la agricultura chilena, 2019).

Las hortalizas se cultivan en todo el país, lo que permite una amplia disponibilidad de productos durante todo el año. Entre las regiones de Coquimbo y Maule se concentra el 85% de la superficie hortícola nacional. La Región de Arica y Parinacota se caracteriza por abastecer al país de ciertas hortalizas en otoño-invierno, mientras que el Norte Chico de Chile por los primores de primavera. En la Zona Central se concentra la mayor producción, que abastece el mercado con una gran oferta y variedad de productos. La zona sur presenta características climáticas aptas para un grupo de cultivos hortícolas que en ciertas épocas del año abastecen los mercados locales.

El Ministerio de Agricultura, a través de la Comisión Nacional de Riego (CNR), está trabajando en fomentar el uso eficiente del agua y el aumento de la superficie regada del país, fortaleciendo las capacidades de los agricultores y sus organizaciones y entregando

herramientas para enfrentar los desafíos futuros, en especial aquellos derivados de la menor disponibilidad del recurso hídrico y de los efectos del cambio climático.

Para ello, el gobierno para el próximo año ha inyectado recursos alcanzando a cifras históricas para el agro: aumento del 10% del presupuesto de la CNR llegando a 67.500 millones de pesos y la inclusión, por primera vez, de concursos de recarga de acuíferos por un monto cercano a 1.000 millones de pesos. Como sector, se está trabajando en acelerar la incorporación de nuevas tecnologías como la telemetría y energías renovables, junto con nuevas prácticas como la infiltración y la recarga de acuíferos, entre una serie de otras iniciativas que apuntan a la eficiencia de los recursos (Panorama de la agricultura chilena, 2019).

### **1.9.1 HUERTOS**

Se denomina huerto al espacio específicamente diseñado para el cultivo de vegetales y hortalizas de distintos tipos. Tanto en términos de tamaño, clases de cultivo, tipo de riego o sistema de trabajo, el huerto puede ser muy variado y diferente, adicionando a estos elementos la posibilidad de que el clima o el tipo de tierra también influyen en las características particulares de cada huerto.

También podemos definirlo como un cultivo de regadío, muy frecuente en las vegas de los ríos por ser un tipo de agricultura que requiere riego abundante, aunque el sistema de riego por goteo, muy apropiado en las parcelas de horticultura, economiza una enorme cantidad de agua. Los principales cultivos de los huertos suelen ser las hortalizas, verduras, legumbres y a veces, árboles frutales. Suelen recibir por ello el nombre genérico de cultivos hortícolas (Huerto y su definición, 2016)

### **1.9.2 HUERTO ESCOLAR**

Es un lugar donde se cultivan hortalizas, granos básicos, frutas, plantas medicinales, hierbas comestibles, ornamentales y se da la cría de animales de corral. Está ubicado dentro del centro escolar e involucra a la comunidad educativa en la implementación.

Además, es un recurso y un medio para que los docentes orienten mediante el proceso de enseñanza aprendizaje a los estudiantes, en todo lo relacionado con la implementación, desarrollo y manejo de cultivos saludables, con el fin alimenticio, educativo y recreativo.

El huerto escolar presenta oportunidades para el desarrollo del trabajo en grupo, permitiendo a los y las estudiantes la práctica de los conceptos de sociabilidad, cooperación y responsabilidad. Constituye una fuente de motivación para la preparación de exposiciones de productos a las que se invita a los padres, a los dirigentes de las entidades agropecuarias y a las autoridades locales. El y la estudiante tiene la oportunidad de comunicarse con el resto de la comunidad a la que pertenece, comunicación que lo prepara para un mejor desarrollo de la vida adulta, le crea conciencia de sus derechos y sus deberes y lo impulsa precozmente a integrarse al grupo social del cual forma parte. Todo ello repercute de una manera u otra sobre el desarrollo social y económico de la familia, la sociedad y el país. La importancia del huerto escolar se fundamenta en que es un lugar donde se realizan experiencias educativas, pero no solo las experiencias sobre el crecimiento de las plantas que servirán de alimento, sino las experiencias múltiples ligadas a la enseñanza, aprendizaje que se desarrolla en la educación diaria. El valor del huerto escolar depende de la habilidad con que se le maneje y emplee con un fin determinado (El huerto escolar, orientaciones para su implementación, 2009).

### **1.10 PLACILLA – LAGUNA VERDE**

Placilla de Peñuelas, es una localidad que pertenece a la comuna de Valparaíso y se emplaza en la meseta ubicada al oriente de los cerros de la Precordillera de la Costa, al costado de la ruta 68 que une Santiago y Valparaíso.

Actualmente cuenta con una población de 40 mil habitantes, debido al gran crecimiento poblacional que ha experimentado en la última década, de la mano del desarrollo de Curauma y Placilla Oriente (MINVU, 2010). En la figura 10, se muestra encerrado en un círculo de color rojo el sector correspondiente a Laguna Verde.



FIGURA N° 10: UBICACIÓN LAGUNA VERDE, VALPARAÍSO. EL CIRCULO SE ENCUENTRA DELIMITANDO EL SECTOR DE LAGUNA VERDE. FUENTE: GOOGLE EARTH.

#### **1.10.1 ESTERO EL SAUCE**

Es una bahía perteneciente a la comuna de Valparaíso, en el litoral central de Chile y ubicada a 15 Km al sur de la ciudad de Valparaíso (PLADECO, 2006).

El estero El Sauce, un cuerpo de agua dulce superficial ubicado en la región de Valparaíso (Chile Central). Este estero se ubica en la zona sur de la localidad de Placilla, y se origina en la zona de confluencia entre el estero Las Cenizas (que tiene como principal tributario a la laguna El Peral) y el estero La Luz (que recibe aguas de Laguna La Luz y Lago Peñuelas).

Esta cuenca forma parte de la zona de transición del corredor biológico de la Reserva de la Biósfera de La Campana-Peñuelas (Moreira y Salazar 2014).

#### **1.10.2 SITUACIÓN HÍDRICA ESTERO EL SAUCE**

Hasta 2005, el principal uso de esta cuenca fue proveer a la comunidad de Placilla y Laguna Verde de agua para consumo humano y el desarrollo de una agricultura básica de subsistencia (Aranda 2013, Zúñiga 2015).

Sin embargo, la calidad del agua de este importante recurso ha experimentado un paulatino deterioro (Millanir 2003, Silob 2012), aunque sigue utilizándose para el riego en el sector rural y con uso recreativo (zona de balneario) en su desembocadura (DGA 2005, Tobar y Torres 2014). En la figura 11 se muestra la ubicación del Estero El Sauce y de la Escuela de Laguna Verde.

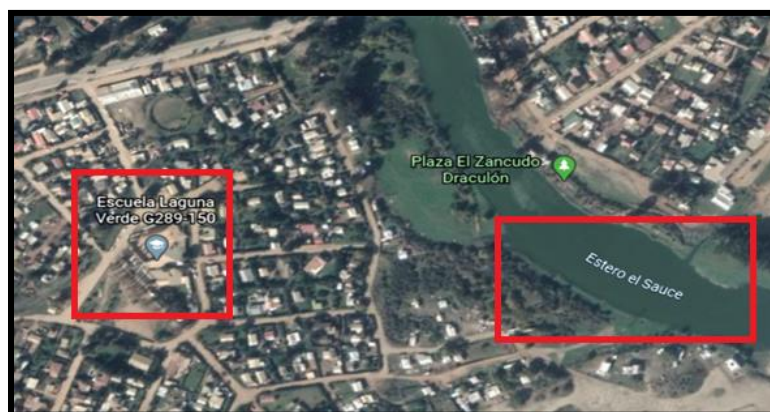


FIGURA N° 11: UBICACIÓN ESTERO EL SAUCE FUENTE: GOOGLE EARTH

### 1.10.3 CONTAMINACIÓN EN ESTERO EL SAUCE

El estero El Sauce es un cuerpo de agua somero e hipertrófico, y sus aguas, en casi toda su extensión, corresponden a la categoría de mala calidad, ya que presentan un alto contenido de materia orgánica, nutrientes, cloruros y contaminación fecal. Por este motivo, las aguas de su cuenca no cumplen con la normativa ambiental para ningún uso. La causa principal de este deterioro sería el ingreso no puntual de aguas servidas en el sector de Placilla y la descarga puntual de las aguas de la planta de tratamiento de aguas servidas ESVAL, que aumentó su caudal en aproximadamente 70 %, con aguas altamente contaminadas que no cumplen con la norma de emisión.

Una segunda causa sería el ingreso en su parte media de líquidos percolados desde un antiguo vertedero y actual relleno sanitario de la región de Valparaíso (RIVERA, 2020).

Estas aguas no sólo contaminan el estero sino también las napas subterráneas del acuífero en la localidad de Laguna Verde, del cual se abastece sin tratamiento más del 60 % de dicha comunidad (RIVERA, 2020).

#### **1.10.4 ESCUELA DE LAGUNA VERDE**

La Escuela Básica N° 150 Laguna Verde G-289 de la ciudad de Valparaíso actualmente cuenta con 95 alumnos matriculados de Pre-kinder a 8vo básico.

Presenta como misión: “En esta escuela trabajamos para brindar una educación integral, de calidad, atendiendo a las diferencias individuales de nuestros estudiantes, enriqueciendo sus valores a través del desarrollo, de sus habilidades y competencias, especialmente, en el deporte, las artes y la protección del medio ambiente, valorando la diversidad del entorno, teniendo como base los principios de la inclusión e interculturalidad”

Presenta 4 sellos, donde el número cuatro es el cuidado y protección del medio ambiente. Es una escuela que presenta certificación ambiental y dentro de sus valores, destacan los medioambientales (Ministerio de educación, 2015). La ubicación de la escuela se puede observar en la figura número 11.

**CAPÍTULO 2**  
PROBLEMA

En 2015, ESVAL alertó que la región de Valparaíso está en riesgo de quedar sin agua potable debido a la crítica situación que vive el embalse Los Aromos, una de las principales fuentes de agua potable para la región y que es administrado por la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, el cual hasta el 28 de febrero de ese año tenía una capacidad de 6 millones de metros cúbicos, muy por debajo de los históricos 25 millones de metros cúbicos que habitualmente tenía esta reserva de agua.

Hasta 2005, el principal uso de esta cuenca fue proveer a la comunidad de Placilla y Laguna Verde de agua para consumo humano y el desarrollo de una agricultura básica de subsistencia (Aranda 2013, Zúñiga 2015). Sin embargo, la calidad del agua de este importante recurso ha experimentado un paulatino deterioro (Millanir 2003, Silob 2012), aunque sigue utilizándose para el riego en el sector rural y con uso recreativo (zona de balneario) en su desembocadura. El estudio presentó diferencias con los límites máximos permitidos en oxígeno disuelto, temperatura, coliformes totales y fecales (DGA 2005, Tobar y Torres 2014).

En diciembre del año 2012, la junta de vecinos n°137 de Laguna Verde, solicita al departamento de química de la Universidad de Playa Ancha, ayuda para la detección de las fuentes contaminantes que afectan directamente la calidad del agua de “Laguna Verde”, de manera de poder actuar con un respaldo e informar a las autoridades pertinentes sobre este grave problema que aqueja a más de 7000 habitantes evidenciándose una mala calidad de agua en el sector (Tobar y Torres, 2014).

El establecimiento educacional donde se desarrollará el proyecto, al estar situado en Laguna Verde, se ve afectado directamente por los problemas de escasez hídrica que se presenta en el sector, además, de un alto nivel de contaminación que existe en el estero El Sauce que es el único caudal y recurso hídrico que existe a su alrededor. A su vez, la escuela presenta un huerto con diversos vegetales y hierbas, lo que requiere un constante uso de agua para su riego, recurso que, tanto en el sector, como la región, se encuentra bastante limitado.

Tomando en cuenta los antecedentes anteriores, se establece que el problema apunta a la escasez de agua que existe en el sector de Laguna Verde y, además, que la poca cantidad de agua que hay, se encuentra clasificada como “agua de mala calidad”, basándose en parámetros físicos, químicos y microbiológicos, es por esto, que el proyecto del sistema a instalar tiene como finalidad la gestión del recurso hídrico, disminuyendo el uso de este en la escuela mediante la aplicación de un sistema de captación de agua lluvia.

**CAPÍTULO 3**  
OBJETIVOS

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Proponer, a nivel de ingeniería conceptual, un sistema que permita la captación y reutilización de aguas lluvias en un establecimiento de Laguna Verde, región de Valparaíso.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar la demanda de agua que requiere el establecimiento educacional “Escuela de Laguna Verde” para el regadío de su huerto escolar.
- Cuantificar la oferta potencial de aguas lluvias que se puede recolectar en el sector de Laguna Verde, Valparaíso.
- Realizar un levantamiento de información relacionada con las tecnologías de diversos sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias.
- Determinar las características técnicas de un sistema de captación y reutilización de aguas lluvias que contribuya a reducir la demanda hídrica para el caso estudiado.

**CAPÍTULO 4**  
METODOLOGÍA

#### 4.1 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA UN HUERTO ESCOLAR

Las plantas absorben el agua directamente del suelo y la cantidad de agua que la planta pueda absorber, dependerá del tipo de este. En la tabla n°7 se muestra la cantidad total de agua que 1 metro de suelo puede proporcionarle al cultivo, según estudios, del total de agua que se presentará, sólo la mitad de esta es aprovechada lo que puede ser observado en la tabla 7 (Estimación de la demanda de agua para cultivos, Gobierno regional de Coquimbo, 2015).

TABLA N°7: AGUA DISPONIBLE EN SUELO PARA LOS CULTIVOS. FUENTE: ADAPTADA DE: ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA LOS CULTIVOS, 2010).

TEXTURA	AGUA TOTAL DISPONIBLE PARA EL CULTIVO (mm/m de suelo)	AGUA UTILIZABLE POR EL CULTIVO (mm/m de suelo).
<b>Arenoso</b>	80	40
<b>Franco arenoso</b>	120	60
<b>Franco</b>	170	85
<b>Franco Arcilloso</b>	190	95
<b>Arcilloso</b>	230	115

Del total de agua contenida en el suelo, las plantas absorben una fracción o volumen denominada agua aprovechable o agua útil, que corresponde al agua retenida entre el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo del suelo. En términos prácticos, será oportuno regar cuando las plantas hayan extraído del suelo la mitad del agua aprovechable (Estimación de la demanda de agua para cultivos, 2015).



FIGURA N° 12: REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN UNA PLANTA. FUENTE: ECURED, TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS, 2013.

Una vez estimada la cantidad de agua disponible en el suelo, es necesario evaluar la demanda del cultivo, en este caso representada por la evapotranspiración. De esta forma sabremos la cantidad de agua necesaria de ser entregada a través del riego, para cubrir la totalidad de las necesidades del cultivo en sus distintas fases de desarrollo. En la figura 12 se muestran los procesos de movimiento del agua de una planta en relación con la transpiración.

## 4.2 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

La programación de riego tiene por finalidad cuantificar, relacionar y equilibrar los montos de agua disponibles en el suelo y la evapotranspiración del cultivo, para luego entregar, vía riego, el agua necesaria para satisfacer adecuada y oportunamente las exigencias del cultivo. Para fines de diseño de un sistema de riego se debe considerar valores de Evaporación del mes de mayor consumo de agua por la planta, lo que generalmente ocurre en los meses de verano (diciembre - enero - febrero), pues es la época en que la planta transpira una mayor cantidad de agua (Estimación de la demanda de agua para cultivos, 2015).

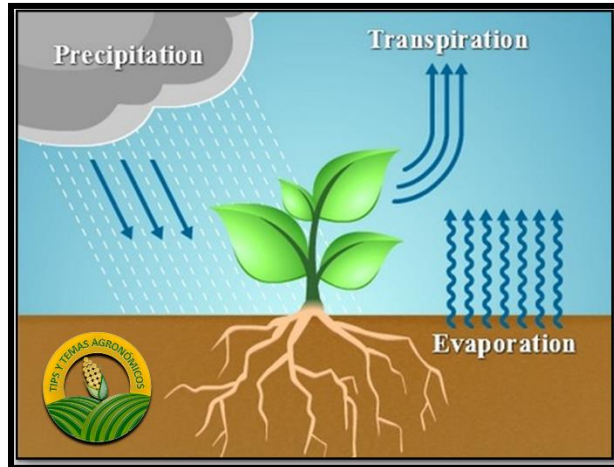


FIGURA N° 13: PROCESO DE TRANSPIRACIÓN Y EVAPORACIÓN DE LAS PLANTAS. FUENTE: TIPS Y TEMAS AGRONÓMICOS: TRANSPIRACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN, 2016.

#### 4.3 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA DE UN CULTIVO

Para poder estimar la demanda de agua que requiere un establecimiento educacional para regadío, es necesario hacer algunos cálculos que apuntan específicamente a obtener la evapotranspiración del cultivo, a través de una estimación de la Transpiración de las plantas y de la Evaporación de agua que ocurre desde el suelo, pues conociendo la Evapotranspiración diaria, podremos saber cuánta agua necesitamos aplicar. El proceso de transpiración y evaporación se pueden observar en la figura 13.

De acuerdo con el enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_o$  y el coeficiente del cultivo  $K_c$ , quedando expresado de la siguiente manera y siendo representados en la figura 14:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Donde:

- $ET_c$     evapotranspiración del cultivo [ $\text{mm d}^{-1}$ ],
- $K_c$     coeficiente del cultivo [adimensional]
- $ET_o$     evapotranspiración del cultivo de referencia [ $\text{mm d}^{-1}$ ].

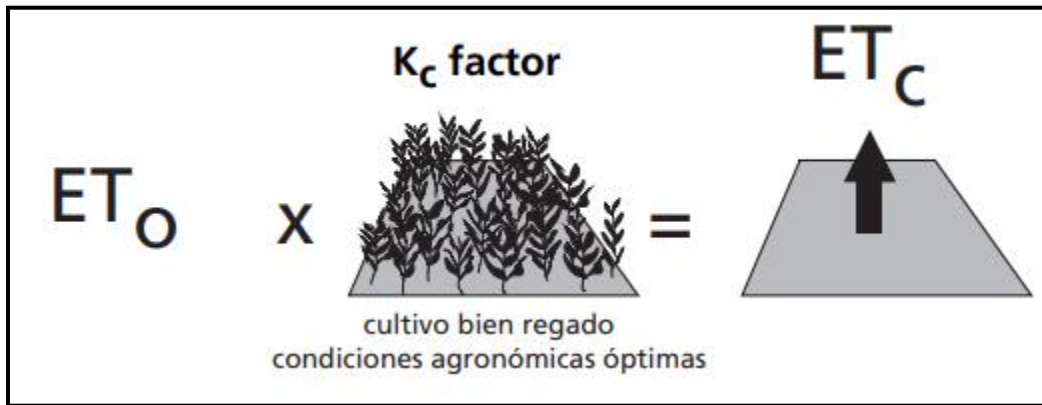


FIGURA N° 14: RELACIÓN ILUSTRADA ENTRE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA Y EL FACTOR DE CULTIVO. FUENTE: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO, 2016.

#### 4.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 2020).

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

Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía.

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera.

El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática.

Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año (Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 2020).

Además, se debe tener en cuenta que existen factores que afectan directamente la evapotranspiración los cuales se pueden observar en la figura 15.

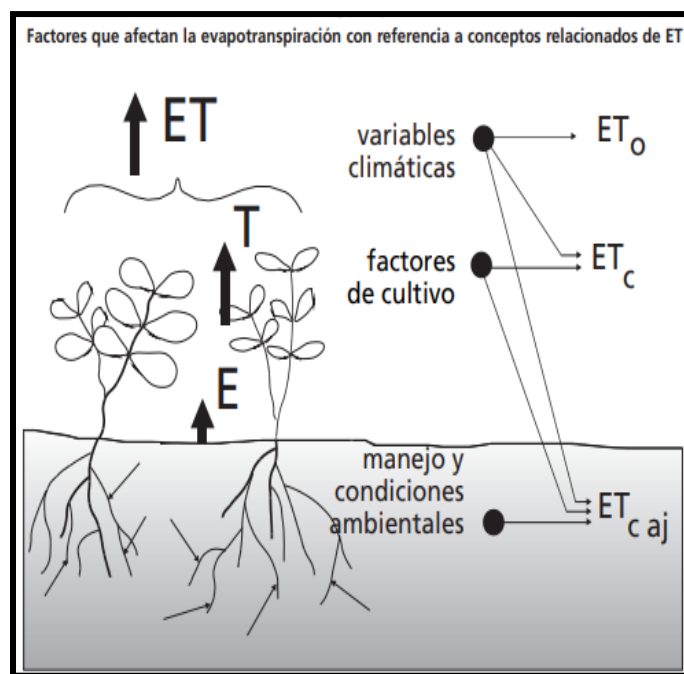


FIGURA N° 15: FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON REFERENCIA A CONCEPTOS RELACIONADOS A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN. FUENTE: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO, 2016

#### **4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA**

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La evapotranspiración de referencia es mencionada en este capítulo debido a que en el cálculo de evapotranspiración de cultivo hay que aplicar valores de evapotranspiración de referencia, según la fórmula presentada en la figura 14.

#### **4.6 COEFICIENTE DE CULTIVO**

El coeficiente del cultivo es otro de los conceptos aplicados que se utilizará para el cálculo de la evapotranspiración. Este coeficiente integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento de este también afectarán al valor del coeficiente Kc.

Es importante mencionar que los valores de Kc que se presentarán en la tabla 8 corresponden a su desarrollo, lo que se explica debido a que a medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de Kc correspondiente a un cultivo determinado también variará a lo largo del período de crecimiento de este. Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada (Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 2020). Las etapas de los cultivos se representan según la figura 16.

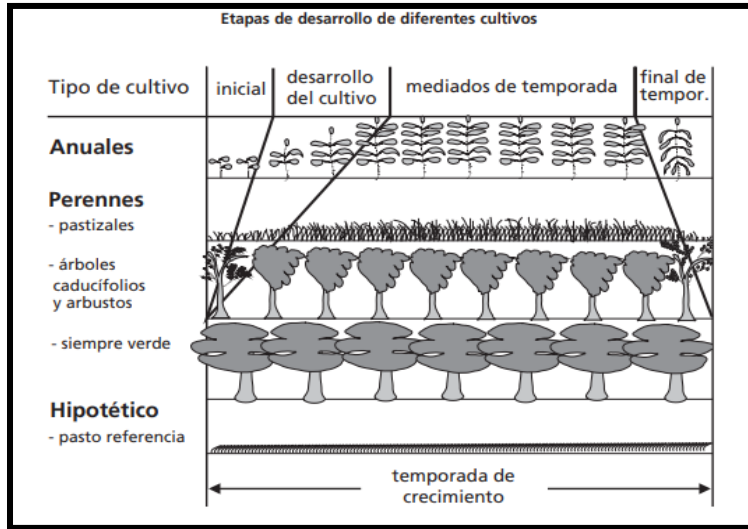


FIGURA N° 16: REPRESENTACIÓN DE LAS ETAPAS DE DESARROLLO DE DISTINTOS CULTIVOS. FUENTE: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO, 2016.

## 4.7 ETAPAS DEL VEGETAL

### 4.7.1 ETAPA INICIAL

La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo.

La longitud de la etapa inicial depende en gran medida del tipo de cultivo, la variedad de este, la fecha de siembra y del clima. El final de la etapa inicial ocurre cuando la vegetación verde cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo.

### 4.7.2 ETAPA DE DESARROLLO DE CULTIVO

La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa. Para una gran variedad de cultivos, el estado de cobertura completa ocurre al inicio de la floración (Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar, 2016).

### 4.7.3 ETAPA DE MEDIDADOS DE TEMPORADA

La etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez.

#### 4.7.4 ETAPA FINAL DE TEMPORADA

La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de Kc y ETc finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas (Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar, 2016). Los valores de Kc de algunos vegetales y hierbas se encuentran en la tabla 8 de acuerdo con la etapa de crecimiento en la que se encuentran.

TABLA N°8: VALORES DE COEFICIENTE DE CULTIVO. FUENTE: ADOPTADO DE: ESTIMACIÓN DE: LA DEMANDA DE AGUA PARA LOS CULTIVOS, 2010

Cultivo	Kc inicial	Kc medio	Kc final	Altura máxima del cultivo (h) (m)
Brócoli		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio		1,05	1	0,6
Ajo		1	0,70	0,3
Lechuga		1	0,95	0,3
Cebolla		1,05	0,75	0,4
Espinaca		1	0,95	0,3
Papa		1.15	0.75	0.6
Berenjena		1.05	0.90	0.8
Pimiento		1.05	0.90	0.7
Tomate		1.15	0.70	0.6
Pepino	0.6	1.0	0.75	0.3
Alcachofa	0.5	1.0	0.95	0.7
Espárragos	0.5	0.95	0.30	0.4
Menta	0.6	1.15	1.10	0.7
Fresas	0.40	0.85	0.75	0.2

Dentro de los valores que se encuentran en la tabla anterior, se encuentran en color damasco aquellas cifras de los vegetales que están presentes en el huerto de la escuela de Laguna Verde.

En las figuras 17 a la 19, se muestra el huerto del establecimiento y de los vegetales y hierbas que se encuentran en el colegio de Laguna Verde.



FIGURA N° 17: IMAGEN DE DISTRIBUCIÓN DE HORTALIZAS EN UN HUERTO.




Zanahoria	Lechuga	Cebolla
		

FIGURA N° 18: VEGETALES PRESENTES EN EL HUERTO. FUENTE: ECOJARDÍN, 2015.

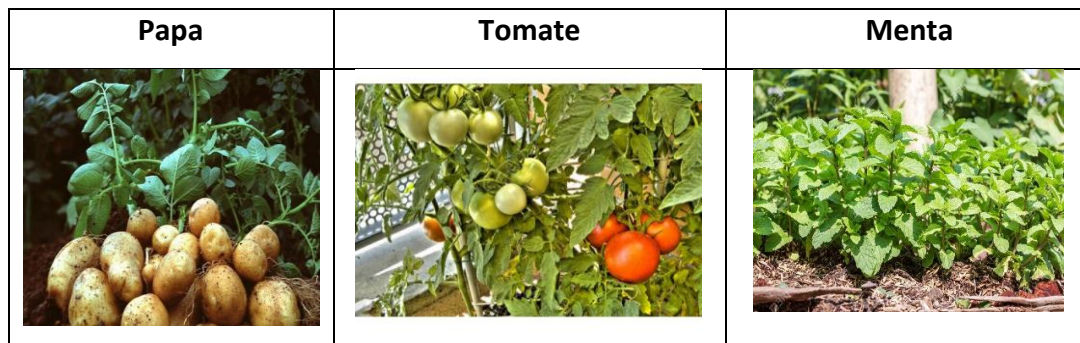


FIGURA N° 19: VEGETALES PRESENTES EN EL HUERTO. FUENTE: ECOJARDÍN, 2010.

#### 4.8 OFERTA POTENCIAL DE AGUA LLUVIA EN EL SECTOR DE LAGUNA VERDE

El cambio climático se intensifica, como consecuencia, se agotan las fuentes subterráneas de agua en la mayoría de las zonas no húmedas y las aguas superficiales también se ven afectadas por excesiva extracción, evaporación y cambios en las precipitaciones. Se genera un alto estrés hídrico en regiones áridas, especialmente en los países en desarrollo (Radiografía del agua, brecha y riesgo hídrico en Chile, 2018).

Es importante para las labores de planificación sostenible del recurso, conocer la cantidad de agua disponible ofrecida por la fuente de agua, así como los niveles de demanda sobre éstos, a modo de asegurar un balance adecuado entre ambos que garantice la sustentabilidad del agua y de los sectores que dependen del vital recurso (Rivera et al., 2004).

“El índice de escasez puede ser aplicado desde a un simple tramo de río hasta una cuenca o región hidrológica y sólo la disponibilidad y la calidad de las mediciones hidrológicas determinan sus niveles de precisión y alcance” (Rivera et al., 2004). En esta relación se considera la oferta como aquella cantidad de agua que ofrece la fuente del recurso superficial y subterránea

Para lograr conocer la oferta de cantidad de agua lluvia que se encuentra en la zona de Valparaíso, se aplicará el concepto y fórmula de calculadora de recolección de agua lluvia.

Dicho concepto hace posible determinar la cantidad de agua que puede ser recolectada en el establecimiento de Laguna Verde. Sin embargo, es importante tener en cuenta que siempre hay pérdidas al recolectar/almacenar la lluvia, tales como la evaporación y/o las fugas, además de las variaciones que pueden resultar de las condiciones climáticas específicas de la zona. En esta calculadora no están considerados estos elementos, sin embargo, es una herramienta útil para lograr obtener una idea general de la cantidad de agua de lluvia que puede ser recolectada.

Esta calculadora de recolección de agua de lluvia puede ser usada para determinar de forma general la cantidad máxima que puede ser recolectada, por lo tanto, será aplicada para calcular la estimación de agua recolectada en el techo del establecimiento, utilizando la estimación de precipitación en el sector y el área del techo del colegio. (Ruvival, calculadora de recolección de aguas lluvias, 2019).

$$\text{Estimación total de agua lluvia} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) = \text{Precipitación} \left( \frac{\text{mm}}{\text{año}} \right) \times \text{área de la zona de captación} (\text{m}^2)$$

#### 4.9 INFORME PLUVIOMÉTRICO

Para tener una estimación de las precipitaciones en la región de Valparaíso, se trabajará con los informes pluviométricos. El informe pluviométrico mide la cantidad de agua caída de la región, en este caso, se debe basar en la región de Valparaíso que es donde se desarrolla el estudio.

Para tener información estimativa en relación con el agua lluvia caída, se trabajará con los datos de “total a la fecha”, “promedio año normal” y “año normal a la fecha. Es importante tener en cuenta que en los informes que se presentarán, se mencionarán los siguientes conceptos:

**Milímetros de agua caída:** Es la cantidad de agua que precipita, un milímetro equivale a un litro de agua por cada metro cuadrado de superficie y que alcanzaría una altura de 1 mm.

**Total, a la fecha:** Cantidad en milímetros correspondientes a la precipitación acumulada durante el año.

**Año normal a la fecha:** Cantidad de milímetros que corresponde al promedio acumulado diario a 30 años (periodo vigente según la organización meteorológica mundial de 1981 a 2010).

**Superávit y/o déficit:** Diferencia en milímetros considerando el total acumulado a la fecha y el correspondiente al índice diario del año promedio, para la misma fecha. Si la diferencia resulta positiva esta corresponderá a Superávit mientras que, si es negativa, a déficit.

**Última agua caída:** Cantidad en milímetros que corresponde a la precipitación acumulada en las últimas 24 horas desde las 08:01 del día anterior hasta las 08:00 horas del día que corresponde al informe (09:00 en horario de verano).

**Año pasado igual fecha:** Cantidad en milímetros correspondiente a lo acumulado a la misma fecha del año anterior.

**Promedio año normal:** Cantidad en milímetros que corresponde al total anual promedio de agua caída (desde 1981 al 2010).

**Trazas:** Se reporta como “Trazas” cuando la cantidad de precipitación resulta inferior a los 0,1 mm. (no medible).

#### **4.10 RELACIÓN DEL CÁLCULO DE RECOLECCIÓN CON LOS TECHOS DEL ESTABLECIMIENTO**

Los siguientes cálculos servirán para determinar la cantidad de agua que puede ser recolectada en techos, en los cuales el agua de lluvia recolectada depende de 3 factores, los cuales se pueden observar en la figura 20.

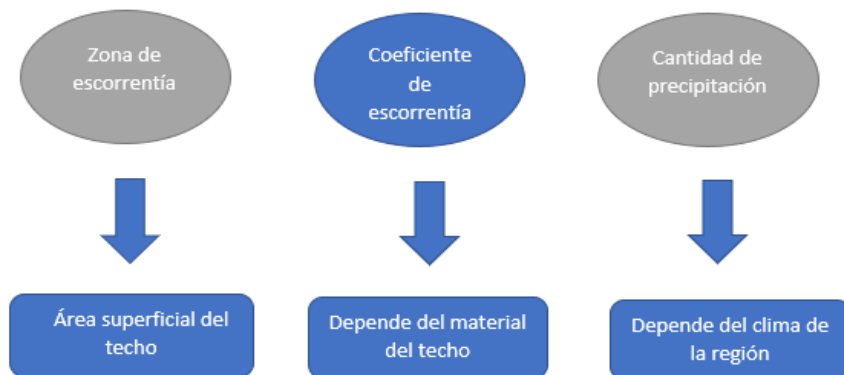


FIGURA N° 20: ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LOS FACTORES CONSTITUYENTES DEL CÁLCULO DE RECOLECCIÓN DE AGUA.

#### 4.10.1 ÁREA SUPERFICIAL DEL TECHO

El área del techo del establecimiento educacional se calculará mediante Google Earth y así lograr tener un valor estimado del área de captación del sistema. Para esto, se tomaron distintas capturas del techo y las medidas de cada lado de este, para por último calcular el área lo cual es presentado en el capítulo de resultados. Para poder determinar el techo que se iba a utilizar para la medición del área y que será el sistema de captación, fue necesario ver la edificación in situ, realizando una visita al colegio en Laguna Verde. En la figura 21 se observa el techo del establecimiento, lo que será el área de captación.



FIGURA N° 211: INCLINACIÓN DEL TECHO DE LA ESCUELA DE LAGUNA VERDE, VALPARAÍSO.

#### 4.10.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para la estimación de agua recolectada por el sistema de captación, se deben tomar en cuenta los siguientes factores: área de captación, estimación de agua lluvia y el coeficiente de escorrentía. Este último, va a depender estrictamente del material del techo, por ende, considerando que el área de captación del establecimiento es de metal, lo que se puede observar también en la figura 21, se va a trabajar con un coeficiente de escorrentía de 0.90, según lo establecido en la tabla 9.

TABLA N°9: VALORES DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA DEPENDIENDO MATERIAL. FUENTE: SALINAS A., 2010.

Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía
Pavimentos de hormiÓN y bituminosos	0,70 a 0,95
Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.	0,90
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa:	0,05 a 0,35
Terrenos granulares	0,15 a 0,50
Terrenos arcillosos	
Zonas con vegetación media:	0,10 a 0,50
Terrenos granulares	0,30 a 0,75
Terrenos arcillosos	
Tierra sin vegetación	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

#### 4.11 CÁLCULO DE AGUA RECOLECTADA

A diferencia del cálculo de la oferta de agua lluvia que se presentaba anteriormente donde sólo se toma en cuenta el área de la superficie donde se almacenará el agua y la cantidad de precipitación, mientras que el cálculo que se presenta a continuación se relaciona directamente con el proyecto, pues en dicha expresión también incide el coeficiente de escorrentía, que depende del material donde se capte el agua y expresa realmente el agua captada a utilizar.

$$\begin{aligned} & \text{Suministro de agua en el tanque de almacenamiento} \left( \frac{m^3}{\text{año}} \right) \\ & = \text{área del techo} (m^2) \times \text{coeficiente de escorrentía} \times \text{precipitación} \left( \frac{mm}{\text{año}} \right) \end{aligned}$$

#### **4.12 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS**

Para realizar un levantamiento de información relacionada con las tecnologías de captación y acumulación de aguas lluvias, es necesario plantear las etapas o fases de los sistemas.

Para Alfaro (2009), los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias se definen formalmente como aquellos sistemas que comprenden un conjunto muy amplio de prácticas tendientes a coleccionar la precipitación para satisfacer las demandas de abastecimiento de agua para consumo humano, producción silvoagropecuaria o el funcionamiento de sistemas naturales.

Según Ballén et al. (2006), los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son el resultado de las necesidades (demanda), los recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de construcción), y las condiciones ambientales en cada región.

Además, agrega que se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento, solo cuando la red de agua potable no existe, el suministro es deficiente o cuando el agua tiene un alto costo.

En el mismo contexto, las prácticas más difundidas están orientadas a satisfacer la demanda de agua para la población en zonas de escasez muy prolongada.

Así, los sistemas de captación desde los techos de las viviendas son el ícono de estos sistemas (Alfaro, 2009). Sin embargo, Ruskin (2001) señala que existen dos técnicas principales para la captación del agua lluvia, que utilizan el mismo principio.

La primera consiste en despejar una extensión grande de terreno, como la ladera de un cerro y cubrirla con un material impermeable. Estos sistemas son generalmente conocidos como sistemas de captación de ladera.

Asimismo, el segundo tipo de técnica de recolección de agua de lluvia atrapa el agua sobre el techo de una casa, desde donde se desvía hacia una cisterna de acumulación. Este tipo de sistema se conoce como sistema de captación de techo.

Para lograr realizar un levantamiento de información en relación con los distintos sistemas de captación y acumulación, se realizará una organización en cuanto a las partes básicas de un sistema de captación y reutilización de agua lluvia, que se establece en la figura 22.

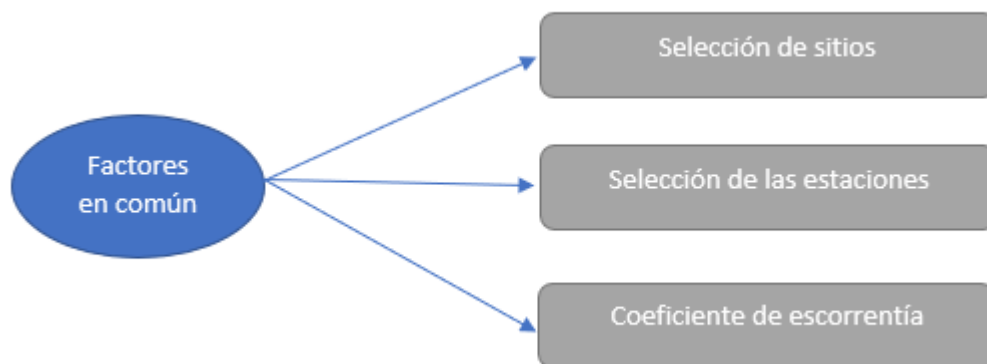


FIGURA N° 22: FACTORES EN COMÚN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.

#### 4.12.1 CAPTACIÓN

La mayoría de las técnicas de captación de lluvia tienen un origen empírico y han sido desarrolladas a lo largo del tiempo, a partir de las civilizaciones ancestrales de Meso y Sudamérica y de otras regiones del mundo. En la figura 23 se observa un esquema de los tipos de captación.

En los últimos 30 años, se han perfeccionado muchas técnicas gracias al aporte de diferentes instituciones y países (Silva et al, 2000). Hay una gran variedad de técnicas adaptadas a diferentes situaciones, las que cumplen diferentes finalidades. Como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad de agua en la finca, para uso doméstico, animal o vegetal. Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia (Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales en Chile, 2015).

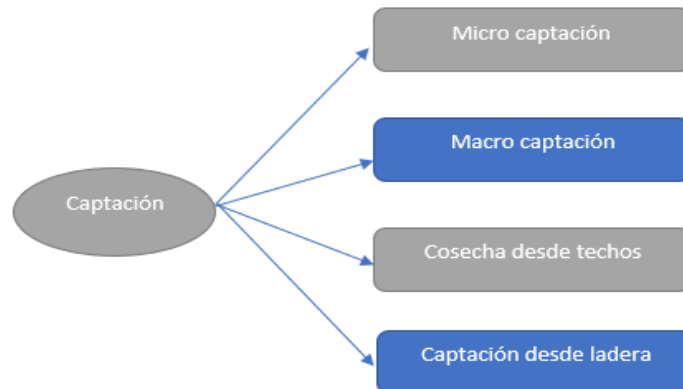


FIGURA N° 23: ESQUEMA TIPOS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.

#### 4.12.2 CONDUCCIÓN

El agua de lluvia recolectada en el área de captación se conduce hacia la zona de acumulación, mediante tuberías para garantizar la salida adecuada del agua lluvia y permitir que no se acumule en el captador.

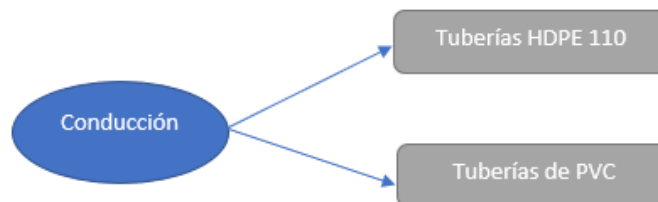


FIGURA N° 24: ESQUEMA TIPOS DE CONDUCCIÓN PARA SISTEMAS DE CAPTACIÓN AGUA LLUVIA.

#### 4.12.3 ACUMULACIÓN

El almacenamiento es el elemento más importante del sistema de captación y acumulación de aguas lluvias debido a su costo, pues representa el 80 a 90% del total del sistema.

Su capacidad debe ser suficiente para el consumo diario de una familia o establecimiento durante los períodos o meses críticos y sobre todo en períodos de sequía.

Por tanto, en el cálculo del diseño se debe considerar que las cisternas de acumulación cuenten con un volumen que dependerá del número de personas integrantes del grupo familiar o de estudiantes, del número y tipo de animales dentro de la unidad productiva y de sus cultivos (Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales en Chile, 2015). En la figura 25 se encuentran los tipos de almacenamiento para aguas pluviales.

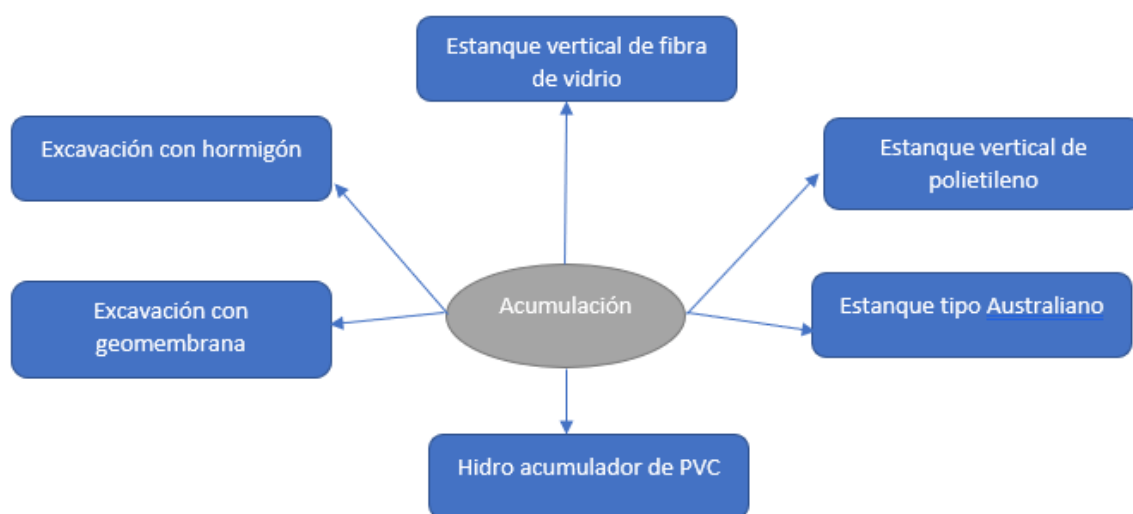


FIGURA N° 25: ESQUEMA DE TIPOS DE ALMACENAMIENTOS PARA AGUA LLUVIA.

Tomando en cuenta los antecedentes anteriores, lo que se quiere lograr con este objetivo y este tipo de metodología, es realizar un desglose y ordenar toda la información con relación a los diversos tipos de captación y acumulación que se pueden aplicar para los sistemas de reutilización de aguas lluvias.

Para la organización de los antecedentes de los sistemas, se realizan esquemas los cuales serán explicados con detalle en los resultados del estudio, con la finalidad de que se obtenga la mayor cantidad de información para poder elegir el sistema más adecuado tomando en cuenta la utilidad que se le dará, el espacio con el que se cuenta y la zona del país donde se quiera ubicar.

#### 4.13 DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS QUE CONTRIBUYA A REDUCIR LA DEMANDA HÍDRICA PARA EL CASO ESTUDIADO.

Por último, para proponer, a nivel de ingeniería conceptual, un sistema que permita la captación y reutilización de aguas lluvias, el trabajo se basará en la figura 26.

##### 4.13.1 Definición del proceso productivo

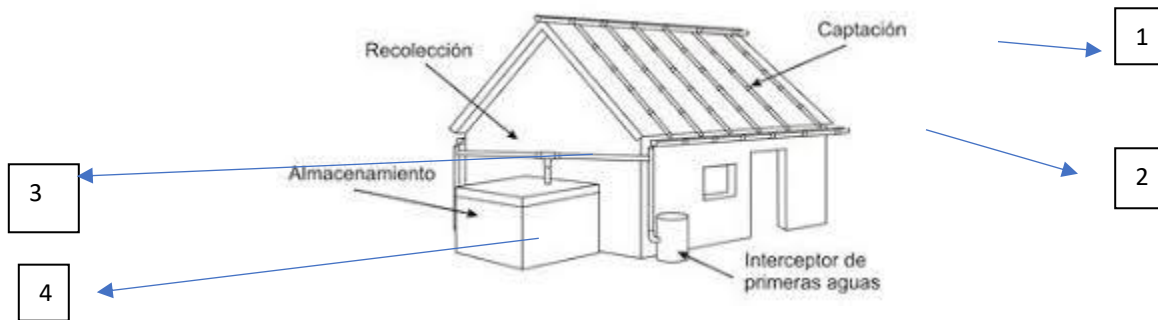
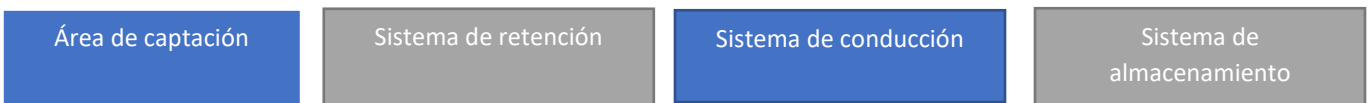


FIGURA N° 26: REPRESENTACIÓN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA A APLICAR EN PROYECTO.



Tomando en cuenta la información recopilada anteriormente, se ha optado por trabajar con un sistema de captación de aguas lluvia en techo. Esto debido al espacio que presenta el establecimiento y la finalidad que tendrá el agua acumulada.

Los sistemas de captación constan de los siguientes elementos o etapas:

- Área de captación.
- Sistema de retención (canaletas).

- Sistema de conducción.
- Almacenamiento.

#### 4.13.2 Área de captación en techo

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección, según lo que se observa en la figura 27.

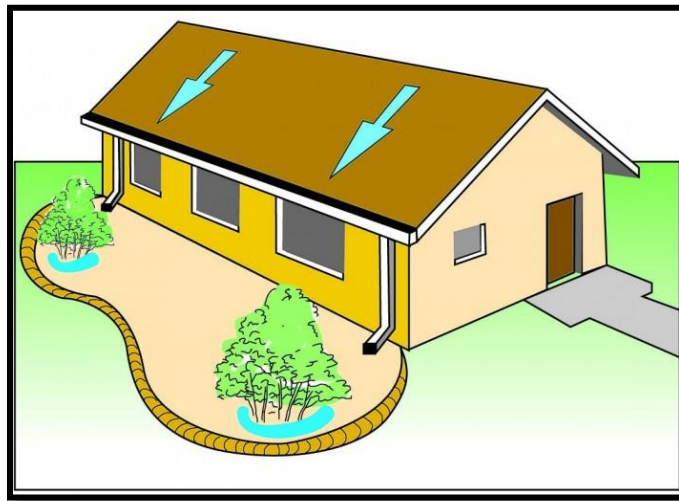


FIGURA N° 27: REPRESENTACIÓN DEL ÁREA DE CAPTACIÓN EN TECHO. FUENTE: ARKIPLUS, 2020.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia en el establecimiento son la plancha metálica ondulada y tejas de arcilla como se observa en la figura 28. La plancha metálica es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados.



FIGURA N° 28: INCLINACIÓN DEL ÁREA DE CAPTACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO.

El techo del establecimiento cuenta con la pendiente indicada en la imagen anterior, además de los materiales ya nombrados los cuales se relacionan directamente con el coeficiente de esorrentía, valores que se encuentran en la tabla 10, el cual también será aplicado para el cálculo de agua recolectada desde el techo.

TABLA N°10: VALORES COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA. FUENTE: SALINAS A., 2010.

Tipo de superficie	Coefficiente de esorrentía
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0,70 a 0,95
Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.	0,90
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa:	0,05 a 0,35
Terrenos granulares	0,15 a 0,50
Terrenos arcillosos	
Zonas con vegetación media:	0,10 a 0,50
Terrenos granulares	0,30 a 0,75
Terrenos arcillosos	
Tierra sin vegetación	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

#### 4.13.3 Sistema de retención mediante el uso de las canaletas del establecimiento:

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua.

Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC. En este caso, las canaletas son de PVC, pero, además, estas deben contar con una constante limpieza, pues en estas se acumulan insectos, ramas, hierbas lo cual impide que el transcurso del agua sea fluido. Además, las canaletas obstruidas causan acumulación de agua contra la pared del cimiento generando debilidad en las bases generando grietas tal y como se ve en la figura 29 a 31.



FIGURA N° 29: SISTEMAS DE CANALETAS PARA UTILIZAR COMO SISTEMA DE RETENCIÓN. FUENTE: AGROTECNIA, 2019.



FIGURA N° 30: SISTEMA DE CANALETAS EN ESTABLECIMIENTO LAGUNA VERDE.



FIGURA N° 31: SISTEMA DE CANALETAS EN ESTABLECIMIENTO LAGUNA VERDE.

#### 4.13.4 Sistema de conducción hacia el estanque

La instalación de la red de transporte se lleva a cabo comúnmente utilizando un sistema de tuberías. Las tuberías transportadoras deben ser resistentes a la intemperización y a los rayos UV, en este caso PVC.

Usualmente, la escorrentía generada se transporta por medio de la instalación de canaletas, las que conllevan el agua a tuberías y así el sistema se conecta con la cisterna de almacenamiento siguiendo la figura 32.



FIGURA N° 32: REPRESENTACIÓN DE SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA CAPTADA HACIA EL ESTANQUE. FUENTE: AGROTECNIA, 2019.

#### 4.13.5 Almacenamiento del agua

El tanque o cisterna de almacenamiento es el componente más costoso de un SCALL. Las cisternas de PVC o similares son también populares en dichos ambientes.

Independientemente del material, el tamaño de la cisterna está en función de diversas variables, tales como la precipitación local, la demanda de agua, la duración prevista de los períodos sin lluvia, el área de la superficie de captación, la estética, la preferencia personal y el presupuesto. Además, hay ocasiones en que conviene tener dos o más tanques pequeños, en comparación a uno de mayor envergadura, como ya se ha mencionado, porque así se pueden irrigar distintas áreas del jardín, sin la necesidad de tener mangueras extremadamente largas.

Los tanques deben estar ubicados lo más cerca posible a los puntos de oferta y de demanda, con el fin de reducir el transporte de agua a distancia.

Los tanques de almacenamiento deben estar protegidos de la luz directa del sol, es decir, si se mantiene el agua almacenada en la oscuridad absoluta, el agua podrá mantenerse por largos períodos y sin la presencia de algas. En las figuras 33 y 34 se demarca el sector donde irá el estanque y el sector que se regará con el agua acumulada.



FIGURA N° 33: UBICACIÓN DEL ESTANQUE DE ALMACENAMIENTO.



FIGURA N° 34: UBICACIÓN DEL ESTANQUE Y DEL TERRENO A REGAR.

#### 4.13.6 Conducción del agua desde almacenamiento hacia huerto

En la figura 35, se presenta como primer lugar la ubicación del estanque, la siguiente imagen corresponde al patio del establecimiento donde se encuentran árboles y plantaciones, que de igual manera puede ser regado con el agua recolectada y que se encuentra en el mismo espacio donde se instalará el sistema. Por último, se presenta el huerto del colegio, el cual está ubicado dentro del mismo patio y que el agua recolectada en el estanque tiene como destino ser utilizada en su riego, rigiéndose por la Norma Chilena 1333/78. Mientras que en la figura 36 de muestra un ejemplo de estanque de almacenamiento.



FIGURA N° 352: DIRECCIÓN DESDE UBICACIÓN DEL ESTANQUE AL HUERTO DEL ESTABLECIMIENTO.



FIGURA N° 36: SISTEMA DE BOMBEO PARA EXTRACCIÓN DE AGUA. FUENTE: PORTALFRUTICOLA: CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA RIEGO, 2017.

#### **4.13.7 Interceptor de primeras aguas**

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia.

Dependiendo del clima en que el propietario de sistema se encuentre, un techo puede tener una superficie de acumulación natural de polvo, hojas, flores, ramas, insectos, excrementos de animales, pesticidas y otros residuos que viajan con el viento en forma suspendida.

Para evitar que dichos contaminantes ingresen a la cisterna de almacenamiento, el sistema debe considerar la instalación de un conductor del primer lavado o interceptor de primeras aguas que dirige el primer flujo de la esorrentía generada a un tubo dispuesto en forma vertical, el cual deberá limpiarse luego de cada lluvia.

Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente. En la figura 37 se muestran las partes de un interceptor de primeras aguas.

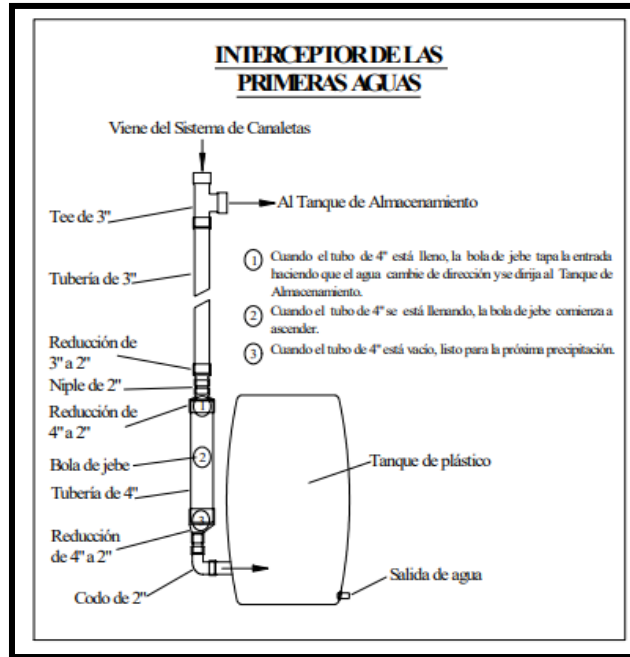


FIGURA N° 37: DISEÑO INTERCEPTOR DE LAS PRIMERAS AGUAS. FUENTE: GUÍA PRÁCTICA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA, 2016.

**CAPÍTULO 5**  
RESULTADOS

## 5.1 ESTIMACIÓN AGUA PARA CULTIVOS

Para la estimación de agua para los cultivos presentes en la escuela de Laguna Verde se establecieron valores estándar para la demanda de ETo para cuatro localidades, lo que incluye a la región de Valparaíso de modo de visualizar la variabilidad interanual, pues es en relación a un periodo entre el año 1950 y 2010 como se muestra en la figura 38.

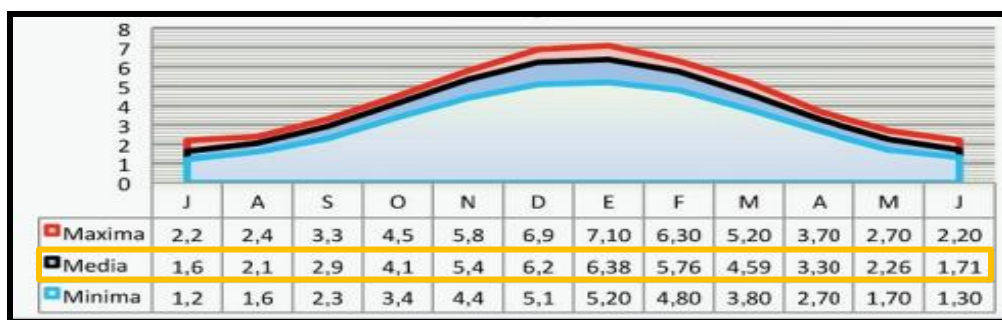


FIGURA N° 383: VALORES DE EVAPOSTRANSPIRACIÓN REFERENCIAL DE LA ZONA CENTRAL POR MESES. FUENTE: EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA, UNIVERSIDAD DE CHILE, 2015.

Los valores de evapotranspiración referencial en la zona central de Chile, varían entre 1 milímetro por día en invierno y hasta 7 milímetros por día en verano.

Para determinar la cantidad de agua necesaria para el riego del huerto escolar del establecimiento ubicado en Laguna Verde, se realizará el cálculo de forma mensual, por cada vegetal que conforma este huerto.

Para calcular la cantidad de agua necesaria para el cultivo de los vegetales es necesario evaluar la demanda del cultivo, la cual en este caso es representada por la evapotranspiración. Sólo de esta forma se sabrá la cantidad de agua necesaria de ser entregada a través del riego, para cubrir la totalidad de las necesidades del cultivo en sus distintas fases de desarrollo.

Para esto es necesario hacer algunos cálculos que apuntan específicamente a estimar la Evapotranspiración del cultivo, a través de una estimación de la Transpiración de las plantas y de la Evaporación de agua que ocurre desde el suelo. Conociendo la Evapotranspiración diaria, se podrá saber cuánta agua se necesita aplicar.

Antes de realizar el cálculo en sí, es necesario entender la relación de las unidades de medida.

Cada resultado se expresará en  $\frac{mm}{d}$ , lo cual corresponde a milímetros por día. Por ende, es importante saber cómo se llevará ese resultado a saber cuánta agua es necesaria. Para esto, se presenta la siguiente relación.

Suponiendo que el cultivo sea sólo de un sólo vegetal en una hectárea, quedaría:

Como una hectárea tiene una superficie de 10 000 m<sup>2</sup> y 1 milímetro es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m<sup>3</sup> de agua por hectárea. Es decir 1 mm día<sup>-1</sup> es equivalente 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

Ahora, esa relación es pensando en que es sólo un vegetal y plantado en toda una hectárea. Llevando esta relación al estudio presente, se tendrá la relación de que 1 mm corresponde a una pérdida de 10 m<sup>3</sup> en una hectárea, pero como en el huerto se trabaja con metros, entonces se tendrá que, por una pérdida de 1 mm de agua, corresponden a 0,001 m<sup>3</sup> por metro cuadrado. Ahora, en las plantaciones se tiene que cada vegetal está cultivado en 2 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, se tiene que, si se pierden 0,001 m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup>, serán 0,002 m<sup>3</sup> en los 2m<sup>2</sup> del cultivo. Por ende, 1 mm día<sup>-1</sup> corresponde a 0,001 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>

Por lo tanto, los valores de ETc que se presentan a continuación, corresponderán al agua perdida por los procesos de evaporación y transpiración de la planta en un día por 1 m<sup>2</sup>.

A continuación, una vez realizado el cálculo de ETc, este deberá ser calculado en relación con la cantidad de metros cuadrados que presenta cada cultivo, lo cual será expresado en litros siguiendo la siguiente relación:

Cantidad de agua necesaria: **A x P<sub>agua</sub>**

Donde:

$$A = 2\text{m}^2$$

$P_{\text{agua}}$  = Cantidad de agua perdida expresada por  $ET_c$ .

### 5.1.1 BRÓCOLI

Para el valor  $K_c$  se utilizará la tabla n° 8 y para el valor de  $ET_o$  se utilizará el valor medio de la figura n° 46. Además se debe tener en cuenta que el brócoli demora 3 meses aproximadamente en estar listo para cosecha y se deben plantar entre los meses de septiembre y octubre.

*Mes de septiembre:*

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

$$ET_c = 1,05 \times 2,9 \frac{\text{mm}}{d}$$

$$ET_c = 3,04 \frac{\text{mm}}{d}$$

La cantidad de agua necesaria para el cultivo de brócoli, siguiendo la expresión de  $A \times P$ , sería de 6,08 L.

*Mes de octubre:*

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

$$ET_c = 1,05 \times 4,1 \frac{\text{mm}}{d}$$

$$ET_c = 4,30 \frac{\text{mm}}{d}$$

La cantidad de agua necesaria para el cultivo de brócoli en el mes de octubre, siguiendo la expresión de  $A \times P$ , sería de 8,6 L.

Mes de Noviembre :

$$ETc = Kc \times ET_o$$

$$ETc = 1,05 \times 5,4 \frac{mm}{d}$$

$$ETc = 5,67 \frac{mm}{d}$$

La cantidad de agua necesaria para el cultivo de brócoli para el mes de noviembre, siguiendo la expresión de A x P, sería de 11,34 L.

TABLA N°11: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DEL BRÓCOLI.

Mes	Cantidad de agua
<b>Septiembre</b>	182,4 L
<b>Octubre</b>	266,6 L
<b>Noviembre</b>	340,2 L

Para los siguientes vegetales, se continuará con la metodología anterior, basándose en el cálculo de A x P y considerando que los valores obtenidos de  $\frac{mm}{d}$  fueron multiplicados por la cantidad de días que presente el mes. Cabe mencionar, que los valores de la cantidad de agua necesaria por cada vegetal y hierbas del huerto del establecimiento se encuentran expresadas en litros lo que se puede ver en las tablas 11 a 19.

### 5.1.2 ZANAHORIA

La zanahoria tarda entre 3 y 4 meses en estar lista para su cosecha. Además, su plantación se debe realizar entre los meses de abril y julio. Para el cálculo de su evapotranspiración, se tomará como plantación el mes de mayo.

TABLA N°12: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Mayo</b>	146,94 L
<b>Junio</b>	107,4 L
<b>Julio</b>	104,16 L
<b>Agosto</b>	136,4 L

### 5.1.3 LECHUGA

La lechuga demora en estar lista para cosecha entre uno o dos meses desde que fue plantada. Su plantación ideal puede ser entre los meses de agosto y marzo. Para el cálculo de la evapotranspiración se tomará para la plantación el mes de noviembre.

TABLA N°13: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA LECHUGA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Noviembre</b>	324 L
<b>Diciembre</b>	384 L

### 5.1.4 CEBOLLA

La cebolla es un cultivo que demora de 3 a 4 meses en estar lista. Su plantación idealmente debe ser entre primavera e invierno. Para el cálculo de evapotranspiración se tomará como plantación el mes de febrero.

TABLA N°14: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA CEBOLLA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Febrero</b>	350,32 L
<b>Marzo</b>	298,22 L
<b>Abril</b>	207,6 L
<b>Mayo</b>	146,94 L

### 5.1.5 PAPA

Las papas demoran de 2 a 3 meses en estar listas para ser cosechadas y los mejores meses para ser cultivada es julio y agosto. Para el cálculo de la evapotranspiración de la papa, se tomará como referencia la plantación en el mes de agosto.

TABLA N°15: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA PAPA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Agosto</b>	149,42 L
<b>Septiembre</b>	199,8 L
<b>Octubre</b>	292,02 L

### 5.1.6 BERENJENA

La berenjena demora entre 2 a 3 meses aproximadamente para estar lista desde que se cultiva. Para cultivar la berenjena los meses ideales son julio y agosto. Para el cálculo de la evapotranspiración se tomará el mes de julio.

TABLA N°16: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA BERENJENA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Julio</b>	104,16 L
<b>Agosto</b>	136,4 L
<b>Septiembre</b>	182,4 L

### 5.1.7 TOMATE

En condiciones favorables, los tomates tardan en madurar 3 meses aproximadamente, por ende se tomarán en cuenta que son 3 a 4 meses. Los meses óptimos para cultivar tomates son de marzo a junio. Para los cálculos de esta evapotranspiración se tomará de referencia el mes de mayo.

TABLA N°17: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE TOMATES.

Mes	Cantidad de agua
<b>Mayo</b>	160,58 L
<b>Junio</b>	117,6 L
<b>Julio</b>	114,08 L
<b>Agosto</b>	149,42 L

### 5.1.8 MENTA

La menta demora en crecer entre 20 y 30 días luego de ser plantada. Lo ideal es que sea plantada en meses de verano, por ende, para el cálculo de la evapotranspiración se tomará como referencia el mes de enero.

TABLA N°18: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA LECHUGA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Enero</b>	454,46 L

### 5.1.9 FRESAS

Las fresas se tardan 3 semanas a 1 mes en estar listas para su cosecha. El tiempo ideal para cultivar frutillas es durante la primavera, por lo tanto, se tomará como mes de referencia para el cálculo de evapotranspiración de las frutillas el mes de noviembre.

TABLA N°19: CANTIDAD DE AGUA EN LITROS NECESARIA POR MES PARA EL CULTIVO DE LA LECHUGA.

Mes	Cantidad de agua
<b>Noviembre</b>	275,4 L

## 5.2 RESUMEN DEMANDA DE AGUA MENSUAL

Tomando en cuenta todos los datos anteriores, se tiene que de forma mensual se deberá tener almacenada la cantidad de agua presentada en la figura 39.

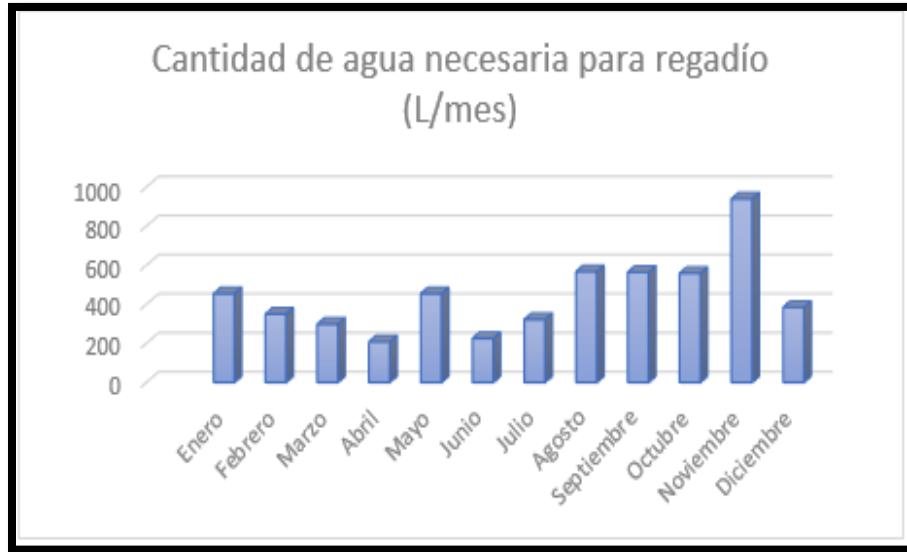


FIGURA N° 39: GRÁFICO REPRESENTATIVO DE CANTIDAD DE AGUA NECESARIAS POR MES DE AÑO.

La figura anterior, muestra la cantidad de agua que se necesitará por mes para el regadío de diversos cultivo, pues cabe mencionar, que dentro de cada mes, hay variedad de vegetales y hierbas.

### 5.3 ESTIMACIÓN OFERTA DE AGUA EN EL SECTOR DE LAGUNA VERDE

Para la determinación de la cantidad de agua que se puede lograr almacenar mediante el techo del establecimiento educacional y así poder ser almacenada, es necesario tener en cuenta tres factores que se muestran en la figura 40.



FIGURA N° 40: FACTORES QUE COMPONEN LA ESTIMACIÓN DE AGUA RECOLECTADA.

Donde la zona de escorrentía se relaciona directamente con el área superficial del techo, el material del techo con el coeficiente de escorrentía y la cantidad de precipitación con el volumen de agua lluvia caída en la región de Valparaíso.

Por ende, tomando en consideración lo mencionado anteriormente, para lograr el cálculo, se tienen los datos obtenidos de acuerdo a la figura 41 y la tabla 20.

### Área superficial del techo:

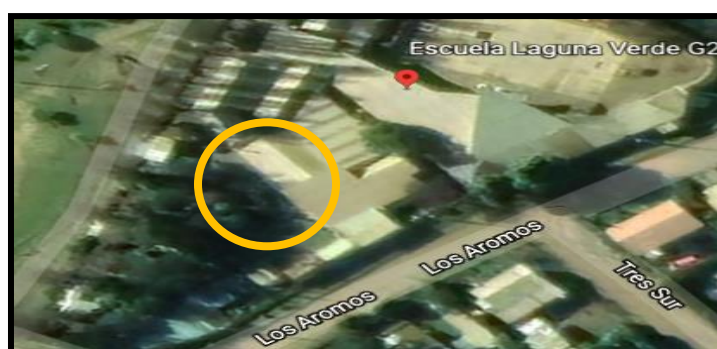


FIGURA N° 41: ÁREA DE CAPTACIÓN MÁS CERCANA AL HUERTO. FUENTE: GOOGLE EARTH.

### Coefficiente de escorrentía:

TABLA N° 20: VALORES DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA. FUENTE: SALINAS A., 2010

Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía
Pavimentos de hormi6n y bituminosos	0,70 a 0,95
Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.	0,90
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetaci6n densa:	0,05 a 0,35
Terrenos granulares	0,15 a 0,50
Terrenos arcillosos	0,15 a 0,50
Zonas con vegetaci6n media:	0,10 a 0,50
Terrenos granulares	0,30 a 0,75
Terrenos arcillosos	0,30 a 0,75
Tierra sin vegetaci6n	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

Fuente: Salinas, A., 2010.

Considerando que las superficies lisas tales como techos de metal, tejas asfálticas o de concreto como es en el colegio donde se está desarrollando el proyecto, se establece que el coeficiente de escorrentía es de **0,90**.

### Cantidad de precipitación:

Para calcular la cantidad de agua de precipitación se tomará el valor de “Total a la fecha” lo que correspondía a la cantidad de milímetros correspondientes a la precipitación acumulada durante el año de acuerdo con lo que valora la tabla 42.

INFORME PLUVIOMÉTRICO DIARIO	
DÍA ÚLTIMA AGUA CAÍDA	VIERNES 13 NOVIEMBRE 2020
ÚLTIMA AGUA CAÍDA	0.4 mm
TOTAL A LA FECHA	261.00 mm
AÑO PASADO IGUAL FECHA	82.70 mm
AÑO NORMAL A LA FECHA	400.69 mm
AÑO NORMAL (PROMEDIO 30 AÑOS)	401.40 mm
(+) SUPERÁVIT / (-) DÉFICIT (RESPECTO DEL AÑO NORMAL A LA FECHA)	(-) 139.69 mm / (-) 34.86 %

FIGURA N° 42: INFORME PLUVIOMÉTRICO REGIÓN DE VALPARAÍSO MES DE NOVIEMBRE. FUENTE: DIRECTEMAR.

Con respecto a la figura 42 se tomarán en cuenta los datos de: total a la fecha y año normal a la fecha. Con estos dos valores, se sacará un promedio de agua caída, ya que los milímetros correspondientes a un año normal a la fecha, abarca la cantidad de milímetros que corresponde al promedio acumulado diario a 30 años.

**El total a la fecha:** 261,00 milímetros.

**El normal a la fecha:** 400,69 milímetros.

**Promedio de ambos valores:** 330,84 milímetros.

El objeto de realizar los cálculos es poder estimar la cantidad de agua que se puede llegar a almacenar en la escuela de Laguna Verde ubicada en la región de Valparaíso, mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} & \text{Suministro de agua en el tanque de almacenamiento} \left( \frac{m^3}{\text{año}} \right) \\ & = \text{área del techo} (m^2) \times \text{coeficiente de esorrentía} \times \text{precipitación} \left( \frac{mm}{\text{año}} \right) \end{aligned}$$

Suministro de agua en el tanque de almacenamiento:  $65,43 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 330,84 \left(\frac{\text{mm}}{\text{año}}\right)$

Suministro de agua en estanque:  $65,43 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,32 \text{ m/año}$

Suministro de agua en estanque:  $19,48 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Tomando en cuenta los valores anteriores, se tendrá entonces que el suministro de agua con el que se contará durante el año, teniendo en cuenta el área del techo que actuará como zona de captación, el coeficiente de escorrentía que se relaciona con el material del área de captación que es adimensional y por último la precipitación del año, donde se sacó un promedio en los cálculos anteriores, será de 19482 l/año.

#### 5.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Para realizar un levantamiento de información sobre las diversas tecnologías que hay de captación y almacenamiento para las aguas lluvias, lo primero que se realizó fue considerar cuáles son los factores que tienen en común todos los sistemas de captación y almacenamiento, independiente de su proceso.

Dichos factores en común resultaron ser los de la figura 43.

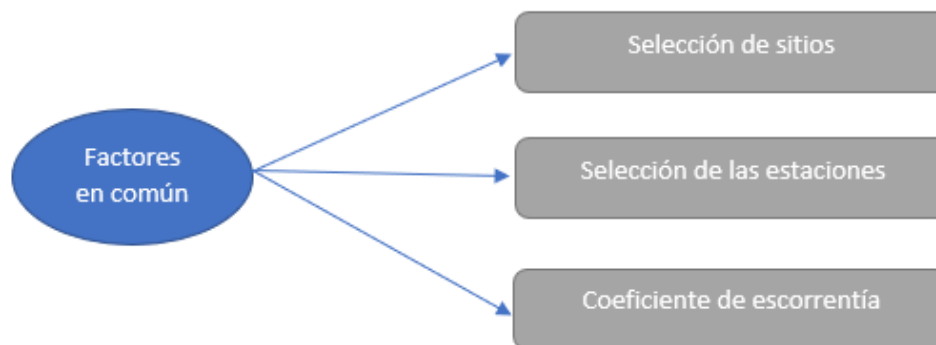


FIGURA N° 43: ESQUEMA DE FACTORES EN COMÚN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN.

En relación a la selección de los sitios donde se van a implementar este tipo de obras, es necesario considerar ciertos aspectos que lógicamente deben ser relacionados con los objetivos que se quieren cumplir relacionados con el volumen de agua que se quiere captar y el destino que a esta agua se le quiere dar. La construcción de este tipo de sistemas se realiza especialmente en zonas donde se presentan problemas de escasez de agua.

Por tanto, un elemento principal a considerar desde un punto de vista social es la ruralidad de la zona, la superficie de la comuna y la población involucrada. Para una comuna, un primer criterio de selección son los sectores en donde el Municipio hace entrega de agua con camión aljibe. Además, otro de los criterios principales al momento de considerar la ubicación de este tipo de sistemas, es la accesibilidad del lugar y el espacio disponible para la construcción de estos mismos. Este aspecto es relevante, puesto que significará, en muchos casos, problemas para la implementación de la obra en terreno.

Otro factor importante para considerar es el propietario de dicho sistema, pues se debe tomar en cuenta la responsabilidad que tendrá el dueño, el compromiso con la mantención de los sistemas, la necesidad del agua que pueda tener el dueño de dicho terreno.

Con relación a los aspectos constructivos de los sistemas de captación y acumulación de agua lluvia, se debe considerar que su realización sea en zonas de cotas por sobre el punto que se desea abastecer, esto se realiza para que el agua pueda llegar de ese punto a cualquier lugar del sector donde se está implementando el sistema. Esto último se debe a que, si la estructura se ubica en un punto con cota más baja que la zona que se desea abastecer, será necesario considerar un sistema de bombeo, además de el de captación, el cual puede ser un sistema de bombeo fotovoltaico.

Es preferible construir las cisternas en suelos de texturas arcillosas, que al compactarse adquieren cierta impermeabilidad y estabilidad. Sin embargo, si se emplean estanques que requieran bases de hormigones, pueden construirse en suelos de texturas francas. Los afloramientos de rocas, grava o arena pueden causar problemas por la excesiva infiltración y por el debilitamiento de las estructuras. Por esto deben evitarse en lo posible, o bien, recubrirse con materiales impermeables y resistentes antes de construir el sistema.

De todas maneras, se recomienda realizar análisis mecánicos del suelo, con el fin de evitar potenciales deslizamientos del terreno y de las obras y asegurar una buena preparación del terreno.

También, relacionado con la elección de los sitios, este tipo de sistemas pueden ser implementados en zonas estratégicas, como por ejemplo zonas de alto riesgo donde se generen incendios forestales, pues puede servir para combatir los incendios.

Otro factor que todos los sistemas de captación deben tener en común es la selección de las estaciones. Con respecto a esto cada sitio debe ser caracterizado hidrológicamente, en términos de las ofertas de agua en periodos mensuales y anuales. Para ello se deben utilizar los registros históricos de estaciones pluviométricas cercanas a los sitios en que se desean instalar los sistemas.

Para conocer la precipitación anual y su comportamiento en el tiempo, es necesario consultar las bases de datos de la Dirección General de Aguas, la Dirección Meteorológica o en este caso a la dirección general del territorio marítimo y de marina mercante o cualquier otro ente afín con datos de precipitación de buena calidad. En esta etapa, pueden considerarse la o las estaciones más cercanas y con una adecuada longitud de la serie de datos, de al menos 15 años, aunque de ser posible es adecuado tender a series mayores a 30 años.

Una de las partes más importantes del sistema es la captación, la cual, dependiendo del sistema puede variar según el el esquema de la figura 44.

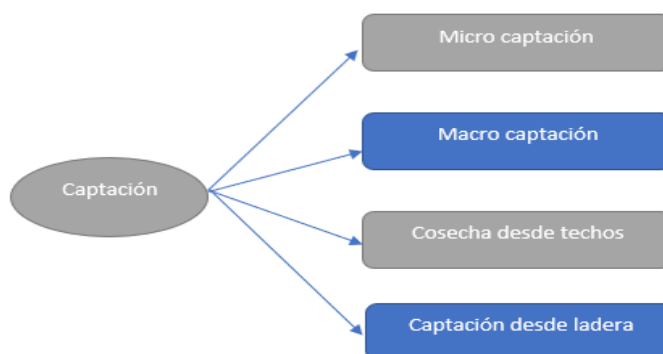


FIGURA N° 44: ESQUEMA TIPOS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.

Como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad de agua, ya sea para uso doméstico, animal o vegetal.

Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia (Captación y almacenamiento de agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe).

La técnica de micro captación consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos.

Las técnicas de micro captación usan las propiedades hidrológicas de un área con pendiente, lisa, poco permeable y sin vegetación, para que genere escorrentía superficial, y las de otra área contigua y aguas abajo, con surcos, bordos, camellones u hoyos, para captar la escorrentía y abastecer el suelo y los cultivos allí sembrados. También es denominada como captación in situ, por tratarse de un proceso de captación y uso en un lugar cercano o contiguo. Por sus características, las técnicas de micro captación se destinan al suministro de agua para cultivos.

La macro captación consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo (macro captación interna) o apartadas del área de cultivo (macro captación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas. Las técnicas de macro captación son más complejas que las de micro captación, esto debido a que incorporan como principio hidrológico la utilización de un área productora de escorrentía superficial (pendiente más elevada, suelo delgado, área rocosa, etc.), sin o con escasa cobertura vegetal, para que genere un volumen considerable de flujo superficial hacia el área de cultivo. Entre ambas debe haber estructuras de contención, de conducción de agua, como acequias, canales, zanjas, surcos o camellones. El agua captada puede también ser utilizada para abastecer estructuras de

almacenamiento, como estanques o embalses temporales, para diferentes finalidades. También se puede considerar como técnica de macro captación la derivación de fuentes de agua externas al área de cultivo, como torrentes, avenidas y cuencas, mediante bocatomas. La mayor parte de las macro captaciones se utilizan en regiones semiáridas o áridas, aunque algunas captaciones externas se aplican también en regiones subhúmedas.

La cosecha o captación de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables es la modalidad más conocida y difundida de captación y aprovechamiento de agua de lluvia.

Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico. La captación de agua de techos es la que permite obtener el agua de mejor calidad para consumo doméstico, para vegetación y consumo animal.

La superficie que recibe la lluvia y genera la escorrentía a almacenar es el área de captación del sistema. El techo de una casa o galpón es la primera opción para la captación pluvial. La calidad del agua proveniente de distintos techos está en función del tipo de material del cual está construido, de las condiciones climáticas y del medio ambiente circundante. Además, la cantidad de agua de lluvia que se puede captar de un techo está en función de la textura del material: mientras más suave e impermeable es la superficie, más agua de escorrentía se genera. Sin embargo, lo que genera más escorrentía no siempre es lo más apropiado en términos de calidad del agua.

A diferencia del metal, que es utilizado en techos de construcciones rurales, se prefiere evitar el uso de tejas de arcilla u hormigón, pues estas últimas son más porosas, lo que puede representar más pérdidas hidrológicas. Sin embargo, para revertir esta desventaja se suele aplicar un sellante, para así reducir las pérdidas hidrológicas, considerando que, si se utiliza pintura no adecuada, hay una alta posibilidad de lixiviación de toxinas. Similarmente, los techos de metal deben ser inoxidable, debido a sus efectos en la lixiviación dentro del sistema.

Los techos de piedra son ideales como superficie de captación, aunque no muy comunes debido a su elevado peso por unidad de superficie.

Otros materiales como techos de madera, alquitrán o grava son menos comunes aún, pero muy adecuados como sistemas de captación pluvial. El escurrimiento superficial generado sobre el área de captación debe ser transportado a la cisterna de almacenamiento.

Para eliminar los residuos que se depositan sobre el techo, es necesario instalar una serie de filtros que eliminan dichas basuras para evitar que estas lleguen al tanque de almacenamiento.

Las barreras para mantener los residuos fuera de un SCALL están representadas por pantallas o redes que atrapan las hojas a lo largo de la canaleta como se muestra en la figura n°45. Los filtros foliares son por lo general pantallas de malla de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, en marcos de alambre que se ajustan a lo largo de la longitud de la canaleta. Sin embargo, dichos filtros suelen ser necesarios solo en techos ubicados cerca de árboles.

Dependiendo de la cantidad y el tipo de hojarasca, y la acumulación de polvo, el propietario puede tener que experimentar para encontrar el método que mejor se adecúe a su situación en particular.



FIGURA N° 45: REPRESENTACIÓN DE BARRERAS PARA MANTENER RESIDUOS. FUENTE: PINTEREST, 2020.

Por último, la captación desde ladera se diferencia de las otras ya que requiere un mayor tiempo para su construcción, mayor cantidad de materiales, por ende, mayor requerimiento económico.

Para lo que es captación, se deben realizar diversas etapas, donde las primeras acciones son: Limpieza, trazado, movimiento de tierra y nivelado, lo cual también se relaciona con lo que se mencionaba anteriormente en relación a la selección de suelos.

La primera parte relacionada con el trazado se relaciona con la labor que contempla una jornada/hombre y es necesaria la utilización de cal para trazar, además de estacas de madera para determinar los niveles de la zona en donde se emplazará el área de captación como se muestra en la figura 46.



FIGURA N° 46: REPRESENTACIÓN DE TRAZADO DE TERRENO PARA INSTALACIÓN DEL SISTEMA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

Por lo general, se trata de evitar emplazar esta zona en lugares con mucha roca y troncos, sobre todo procurando que sea una zona despejada de vegetación mayor. Lo que es limpieza y escarpado se puede realizar con pala, motosierra y en algunos casos con retroexcavadora, sobre todo en aquellos sitios en donde es necesario el retiro de grandes rocas y/o tocones. En la figura 47 se observa la etapa de limpieza del terreno.



FIGURA N° 47: REPRESENTACIÓN LIMPIEZA Y ESCARPADO. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

Para el movimiento de tierra se considera el movimiento de tierra con pala y en otros casos retroexcavadora o ambos sistemas, dependiendo de los volúmenes de tierra a movilizar, la disponibilidad de mano de obra en cada sector y la accesibilidad a cada sitio como se observa en la figura 48.

El área que se requiere para lograr llenar la cisterna debe contar con al menos 3 o 5% de pendiente para que sea posible el escurrimiento del agua. Esta área consiste en la zona donde toda el agua de lluvia se colecta hacia un punto común de salida y que será aprovechada para llenar la cisterna.



FIGURA N° 48: REPRESENTACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

Una vez limpia, escarpada y nivelada la zona en donde se emplaza la geomembrana, se debe ejecutar las distintas labores de construcción de la estructura de soporte. Para esto se recomienda dar una profundidad de unos 40 cm bajo tierra a los polines impregnados y en aquellos sitios en donde la pendiente del terreno es mayor al 15% se deberán enterrar a una profundidad de 60 cm, con un distanciamiento de 1 metro. Se le debe dar una altura a todo el perímetro de 30 cm y en la parte baja del área de captación se da gradualmente una altura de 70 cm. Asimismo, la cabeza de los polines impregnados se corona con listones de 2"x3" impregnados y, para evitar que los cantos de estos listones dañen la geomembrana, se corona con un tubo de PVC sanitario gris de 110 mm, dividido en dos partes en dirección a su largo como se muestra en la figura n°49.



FIGURA N° 49: CORONACIONES CON PVC MEDIANTE EL USO DE LOS POLINES. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

Por último, para terminar lo que es la construcción del área de captación, se utiliza geomembrana. Para el caso de la geomembrana negra lisa de HDPE, de 1 mm de espesor, el fusionado se realiza con máquina soldadora de cuña caliente. Esta máquina trabaja y fusiona la geomembrana a una temperatura de 420°C tal como muestra la figura 50.



FIGURA N° 50: FUSIONADO DE LA GEOMEMBRADA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

El sellado o soldadura de la geomembrana se hace a través de la extrusión con la máquina extrusora para cordón HDPE de 4 a 4,5 mm, la que define una extrusión de 6 Kg de cordón por hora como se muestra en la figura 51.

Respecto del proceso mismo, es importante mencionar que se requieren condiciones óptimas de temperatura para el proceso de fusionado y sellado, ya que en condiciones de humedad no es posible llevar a cabo esta etapa. Es un proceso muy demandante de mano de obra y requiere de 2 a 3 días en su ejecución.

Esto porque la Geomembrana HDPE de 1 mm frente a altas temperaturas verifica un trabajo a la dilatación y, a bajas temperaturas, se registra un trabajo a la contracción.



FIGURA N° 51: SELLADO Y SOLDADO DE LA GEOMEMBRANA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

Después de este trabajo mecánico se puede realizar la extrusión, ya que la Geomembrana se ha moldeado a la estructura de captación. Otra operación para considerar es la ejecución, en todo el perímetro del área de captación, de una zanja de 30 cm de profundidad, con el propósito de que el borde de la geomembrana se entierre en la zanja, para posteriormente tapar con material de la excavación y realizar un compactado final en todo este perímetro. De esta manera, se evita que quede expuesta la superficie o que queden espacios por donde pueda entrar el viento y genere un desplazamiento de todo el paño de la geomembrana lo que se muestra en las figuras 52 y 53.



FIGURA N° 52: ZANJA DONDE SE POSICIONA LA GEOMEMBRANA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.



FIGURA N° 53: ÁREA DE CAPTACIÓN TERMINADA. FUENTE: MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONA RURALES DE CHILE, 2015.

En cuanto a los sistemas o los tipos de acumulación que se realizará con un agua proveniente de techo, se diferencian en el material de su cisterna. Los nombres de los sistemas de acumulación se presentan en la figura 54.

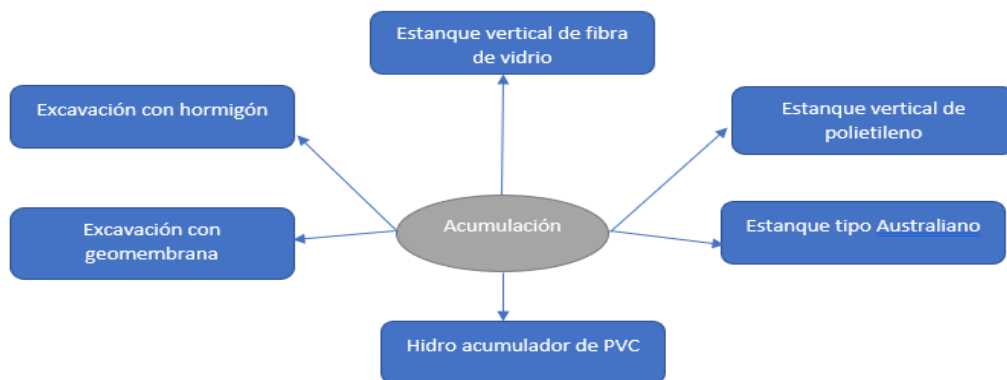


FIGURA N° 54: ESQUEMA REPRESENTATIVO TIPOS DE ACUMULACIÓN.

Para la acumulación en geomembrana es recomendable realizar, según el terreno donde se coloque la geomembrana, una buena compactación del terreno a fin de no dañarla, considerando las recomendaciones referidas a la tapa del área de acumulación como se muestra en la figura 55.



FIGURA N° 55: REPRESENTACIÓN DE ACUMULACIÓN DE AGUA EN GEOMEMBRANA. FUENTE: FILMAMERICA, 2015.

La geomembrana HDPE (polietileno de alta densidad) es una de las opciones más usadas para la acumulación de agua lluvia. Los revestimientos de HDPE son altamente resistentes a los solventes y son el revestimiento de geomembrana más utilizado en el mundo. Aunque es flexible, el HDPE proporciona mayor resistencia específica y resistencia al desgarro y también puede soportar temperaturas más altas. Sus excepcionales propiedades de resistencia química y ultravioleta lo convierten en un producto extremadamente rentable, un sistema de este tipo se muestra en la figura 56.

Otro tipo de acumulación es un hidro acumulador Flexitank de PVC, se recomienda que el sector donde se instalará el Flexitank o hidro acumulador, no debería tener ningún tipo de pendiente. Sí debería tener una base lisa bien compactada, con el fin de garantizar que, una vez lleno, el estanque no se deslice, trabaje de forma estable y acumule de buena forma. Esto también implica una buena nivelación y compactación del terreno donde se emplazará la cisterna.



FIGURA N° 56: HIDROACUMULADOR DE PVC. FUENTE: DOCLAYER, 2017.

Para la instalación del estanque de polietileno de fibra de vidrio se debe ejecutar un radier de hormigón armado con un espesor mínimo de 8 a 10 cm, con una malla ACMA C-139 en la parte inferior o, en su defecto, una malla de fierro corrugado de diámetro 8 mm como el de la figura 57. El hormigón por utilizarse debe ser a lo menos un H-20. También, se recomienda un buen nivelado y compactado del terreno.



FIGURA N° 57: ESTANQUE VERTICAL CON FIBRA DE VIDRIO. FUENTE: MECALUX, 2020.

En los estanques de hormigón armado, es importante verificar la dosificación del hormigón, de tal manera que se permita una buena impermeabilización del estanque. Al ser el hormigón un material poroso es importante impermeabilizar el estanque, por dentro y por fuera. Para ello se debe considerar una capa exterior de mortero de cemento.

Además, exteriormente, se debe considerar el pintado con alguna pintura epóxica que garantice la impermeabilización. El hormigón deberá ser mínimo un H-25 (18 palas de grava, 10 palas de arena, 13/4 baldes de agua de 10 litros). El espesor de muros y radier base, deberá ser al menos de 15 cm, con refuerzos de varillas corrugadas, formando una malla doble de 12 c/ 15 cm. Una vez hecha la excavación, deberá instalarse el moldaje de madera en el interior de la excavación a 15 cm de la pared del acumulador.

En este tipo de acumulador las paredes no llevan talud, por lo tanto, la terminación de las paredes es en ángulo recto. Posterior a esto, se colocarán mallas dobles tipo c-139, como estructura de la pared, y una vez instaladas se deberá rellenar con hormigón H-25 a contra muro, dejando una terminación en su parte superior y por todo el perímetro en un muro de 20 cm de altura por 30 cm de ancho. Este muro soportará como base a la estructura de la techumbre, que irá amarrada con una solera inferior lo que se puede observar en la figura 58.



FIGURA N° 58: SISTEMAS DE ACUMULACIÓN CON ARMADO DE HORMIGÓN. FUENTE: REDAGRICOLA, 2017.

Los estanques verticales de polietileno presentan una alta densidad y diversas aplicaciones y una de ellas es la fabricación de tanques o depósitos para el almacenamiento de agua u otros líquidos, como por ejemplo productos químicos.

Algunos de los beneficios de este tipo de estanques es que el polietileno es de menor costo en relación a los estanque anteriormente mencionados.

Además, se caracterizan por tener una alta impermeabilidad, pues este tipo de estanques permite que el interior del depósito permanezca limpio y aislados de los agentes y suciedad

externa. También, presentan una alta resistencia a los rayos del sol, pues su fracción es con protección de los rayos UV, lo que permite que sean instalados en sectores exteriores.

Estos estanques presentan larga vida útil, pues la media durabilidad de un tanque o depósito de este material es de aproximadamente 30 años, un ejemplo de este tipo de estanque se observa en la figura 59 (Revista técnica de medio ambiente, 2020).



FIGURA N° 59: ESTANQUE VERTICAL DE POLIETILENO. FUENTE: SODIMAC.CL, 2020.

El estanque Australiano, se constituye de piezas de zinc que vienen curvadas, las cuales pueden ser 8,10 o 12 dependiendo del ancho del estanque. Estas láminas o piezas contienen una bolsa o geomembrana que almacenan el agua. Dicha geomembrana, evita que el agua se filtre y disperse, por ende, logre concentrarse en un solo sitio. Se coloca dentro del estanque con las láminas para darle forma a la estructura, la cual puede ser puesta sobre cualquier base, lo que genera una ventaja importante a la hora de la instalación, pues puede ser colocado incluso sobre arena.

Las láminas están hechas de acero galvanizado corrugado y solapadas una sobre otra para dar forma al estanque. Su espesor varía en función de las dimensiones del depósito, que va desde 0.9 hasta 2.5 milímetros.

En cuanto a la geomembrana, se trata de un polímero que recubre e impermeabiliza la estructura, cuyas propiedades químicas y duración dependerán del líquido a almacenar.

El estanque en general tiene una vida útil hasta de 30 años, mientras que la geomembrana puede durar hasta 10 y 20 años.

Esta opción de estanque no sólo se limite a almacenar el líquido, en este caso agua, sino que también lo puede transportar y distribuir en el establecimiento. Además, otras de las ventajas es que el depósito puede llenarse con agua lluvia o bombearla de un pozo profundo e incluso de una laguna. El tamaño del estanque se puede dimensionar por la figura 60.

Cuando se trabaja con estanque, tiende a instalarse una cubierta con polisombra o con una tapa de geomembrana con la finalidad de evitar que el agua se evapore o contamine con hojas, insectos o cualquier otro material.



FIGURA N° 60: ESTANQUE AUSTRALIANO. FUENTE: CONTEXTO GANADERO, 2020.

## 5.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS QUE CONTRIBUYA A REDUCIR LA DEMANDA HÍDRICA PARA EL CASO ESTUDIADO.

Para realizar la determinación de las características técnicas de un sistema que permita la captación y reutilización de aguas lluvias se deben determinar las partes que van a formar el sistema. Dichas partes están descritas en la figura 61.

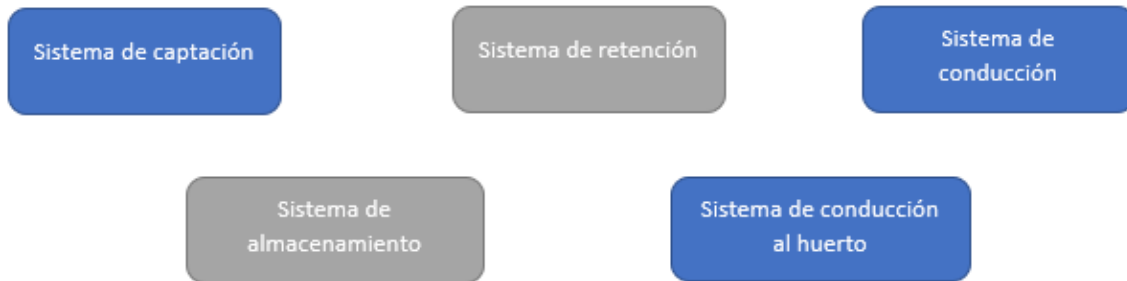


FIGURA N° 61: PARTES DEL SISTEMA A DISEÑAR DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA LLUVIA.

### 5.5.1 CAPTACIÓN

En relación a los antecedentes recopilados con anterioridad, se determinó que pueden existir diversos tipos de captación, pero para este caso e implementación de sistema, se trabajó con un sistema de captación desde el techo del establecimiento educacional. Para poder determinar cuál será la cantidad aproximada de agua que se podrá captar es necesario lograr tener el área del techo.

A continuación, en la figura n°62 se muestra el techo del colegio para así, poder identificar la zona en la cual se trabajará para determinar el área de captación.



FIGURA N° 62: ÁREA DE CAPTACIÓN ESTABLECIMIENTO EDUCACIONAL LAGUNA VERDE. FUENTE: GOOGLE EARTH

En las figuras 63 y 64, se muestran las medidas de la forma del área de captación con la finalidad de determinar el área del techo y así, la cantidad aproximada de agua captada.

Se tiene como resultado que el área total del techo aproximadamente es de **65,43 m<sup>2</sup>**.



FIGURA N° 63: DISTANCIA DEL ÁREA DE CAPTACIÓN. FUENTE: GOOGLE EARTH.



FIGURA N° 64: DISTANCIA DEL ÁREA DE CAPTACIÓN. FUENTE: GOOGLE EARTH.

En cuanto a los materiales, en esta etapa no se consideran, ya que el techo está armado.

### 5.5.2 RETENCIÓN

Con la parte o sistema de retención, se hace referencia a las canaletas. Las canaletas del establecimiento serán las responsables de recibir, retener y conducir el agua mediante el sistema.

Cabe mencionar, que esta parte del sistema, ya se encuentra instalada y mide aproximadamente 12 metros, pese a eso, es necesario agregar un captador de residuos en las canaletas que rodean el área de captación para evitar que el agua que llega al sistema de retención, lo haga con hojas y/o basura. Dichos captadores de residuos se ajustan a lo largo de la longitud de la canaleta. Sin embargo, dichos filtros suelen ser necesarios solo en techos ubicados cerca de árboles.

se ajustan a lo largo de la longitud de la canaleta. Sin embargo, dichos filtros suelen ser necesarios solo en techos ubicados cerca de árboles como se muestra en la figura 65.



FIGURA N° 65: MALLA PARA RESIDUOS EN CANALETAS. FUENTE: PINTEREST, 2020.

Este tipo de materiales se puede encontrar en tiendas comerciales tales como sodimac, donde en la figura 66 se muestra el valor de esta malla.

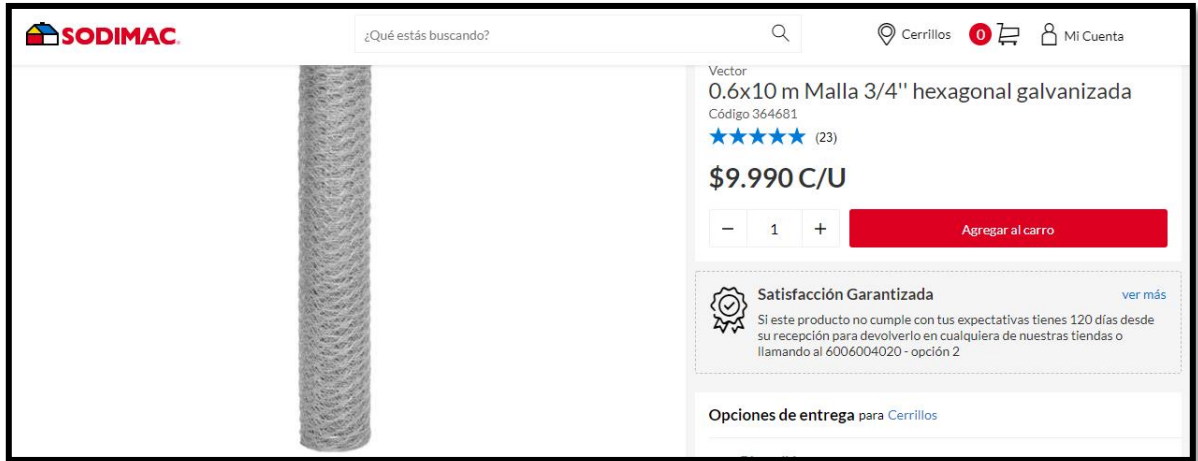


FIGURA N° 66: VALOR MALLA PARA CANALETA. FUENTE: SODIMAC, 2020.

Considerando que la distancia medida de la canaleta a utilizar es de 12 metros que se muestra en al figura 67, se debiesen comprar 2 mallas de la anteriormente señalada.



FIGURA N° 67: ZONA DE RETENCIÓN DEL SISTEMA.

### 5.5.3 CONDUCCIÓN

La parte del sistema que refiere a conducción será aquella parte donde dirige el agua que está en las canaletas hacia el estanque de almacenamiento. Dicha conducción se realizará mediante tubos de PVC siguiendo el esquema de la figura 68.



FIGURA N° 68: FIGURA A REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN. FIGURA B UBICACIÓN SISTEMA DE CONDUCCIÓN EN EL ESTABLECIMIENTO DE LAGUNA VERDE.

Para lograr la conducción en relación a la figura B, se instalará un tubo PVC desde el final de la canaleta con la finalidad de de dirigir el agua captada hacia el estanque de almacenamiento al igual que se observa en la figura A. Dicho tubo tendrá una medida de 2,5 metros como el de la figura 69.



FIGURA N° 69: TUBERÍA PVC PARA CONDUCCIÓN DEL SISTEMA. FUENTE: SODIMAC, 2020.

Considerando que la distancia es de 2,5 metros, se recomienda comprar 3 tubos para poder realizar la conducción.

#### 5.5.4 ALMACENAMIENTO

El estanque para el almacenamiento de agua que sea dirigida mediante el sistema de conducción, será de polietileno, esto debido a su bajo costo y las ventajas que tiene en relación a rayos UV, movilidad y adaptación en terreno. Una de las opciones es un estanque de 2000 L, valor que se muestra en la figura 70.

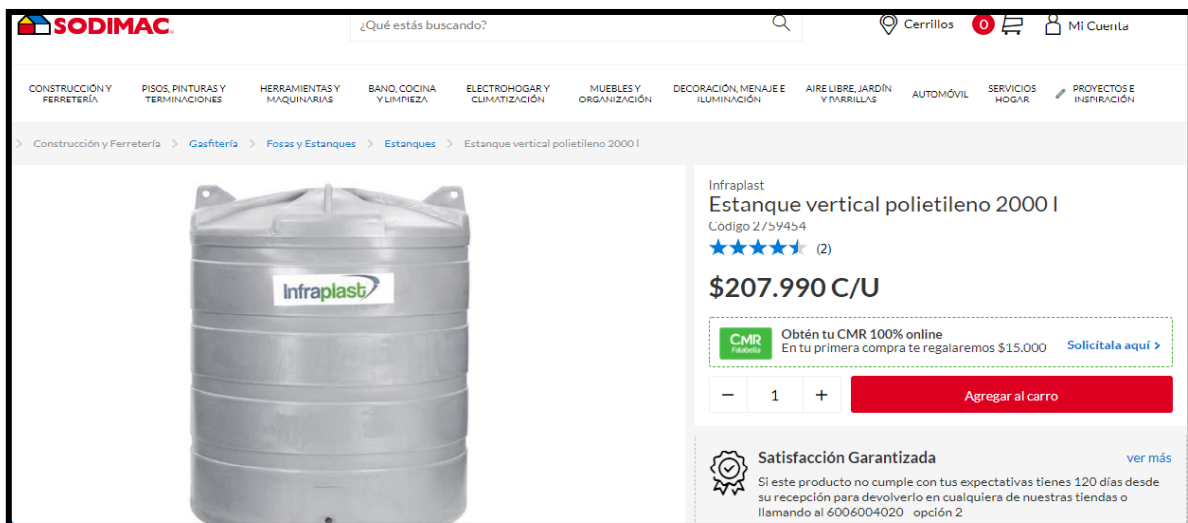


FIGURA N° 70: ESTANQUE DE ALMACENAMIENTO A INSTALAR EN EL SISTEMA. FUENTE: SODIMAC, 2020.

#### 5.5.5 CONDUCCIÓN AL HUERTO

La conducción del agua se realizará desde el estanque almacenamiento hasta el huerto mediante una bomba que se muestra en la figura 71, pues el estanque tendrá un tubo que direccionará el agua hacia la bomba y luego la bomba podrá impulsar al cuerpo de agua mediante una manguera para así poder utilizarla en el riego de jardines y huerto, que es la finalidad del sistema.

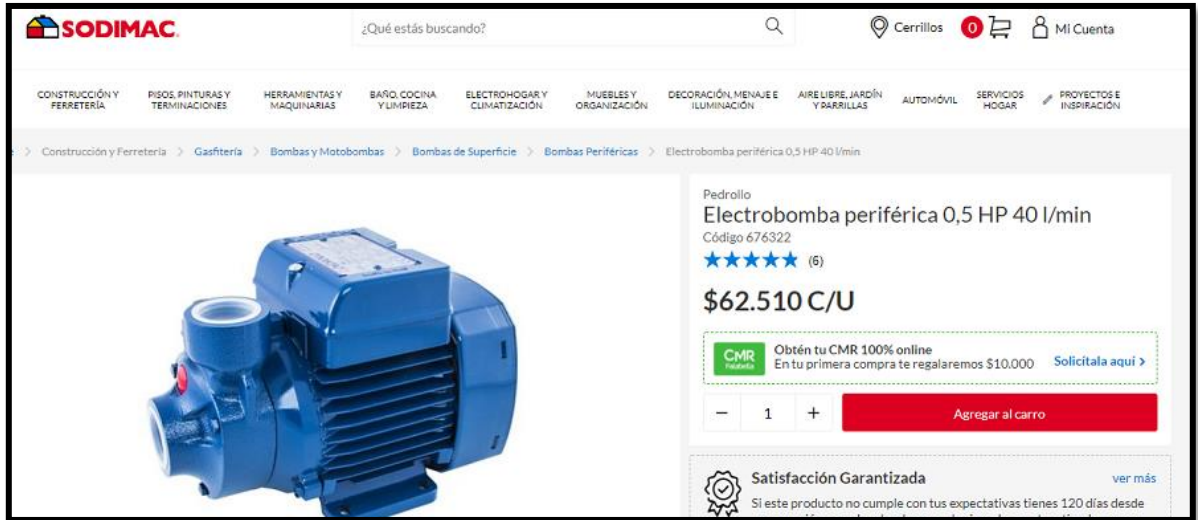


FIGURA N° 71: BOMBA DE AGUA A UTILIZAR PARA SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA. FUENTE: SODIMAC.CL

## 5.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA LA ESCUELA DE LAGUNA VERDE

El techo que se observa en las figuras 72 a 76 corresponden al área de captación del establecimiento. Mediante las canaletas que actuará como retención se desplazará el agua hacia las tuberías PVC que serán el sistema de conducción para dirigir el cuerpo de agua hacia el estanque de almacenamiento.

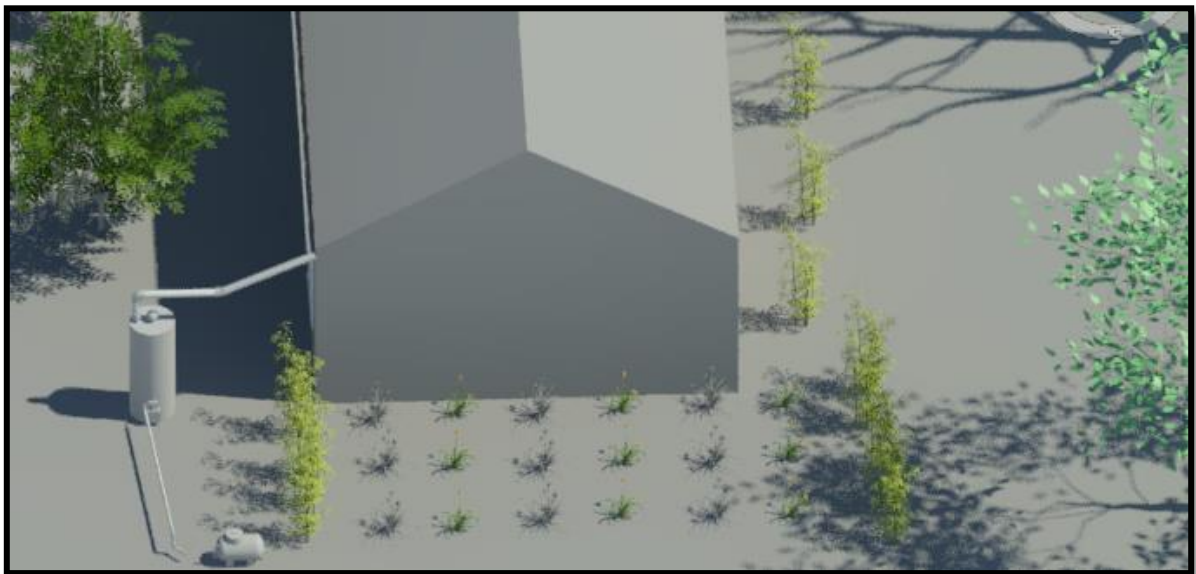


FIGURA N° 72: DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN AGUA LLUVIA. PERSPECTIVA DESDE TECHO.

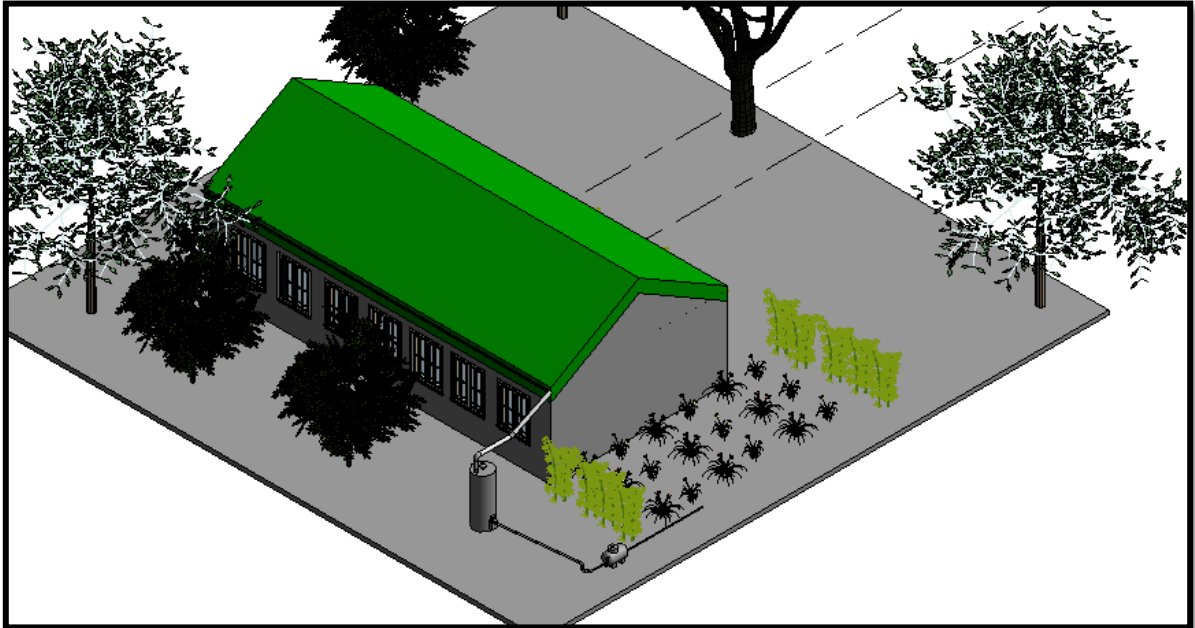


FIGURA N° 73: DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN AGUA LLUVIA. PERSPECTIVA DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN Y HUERTO.

El agua una vez que sea recepcionada por el estanque de almacenamiento, deberá nuevamente pasar por un sistema de conducción para ser dirigida hasta el área de bombeo.

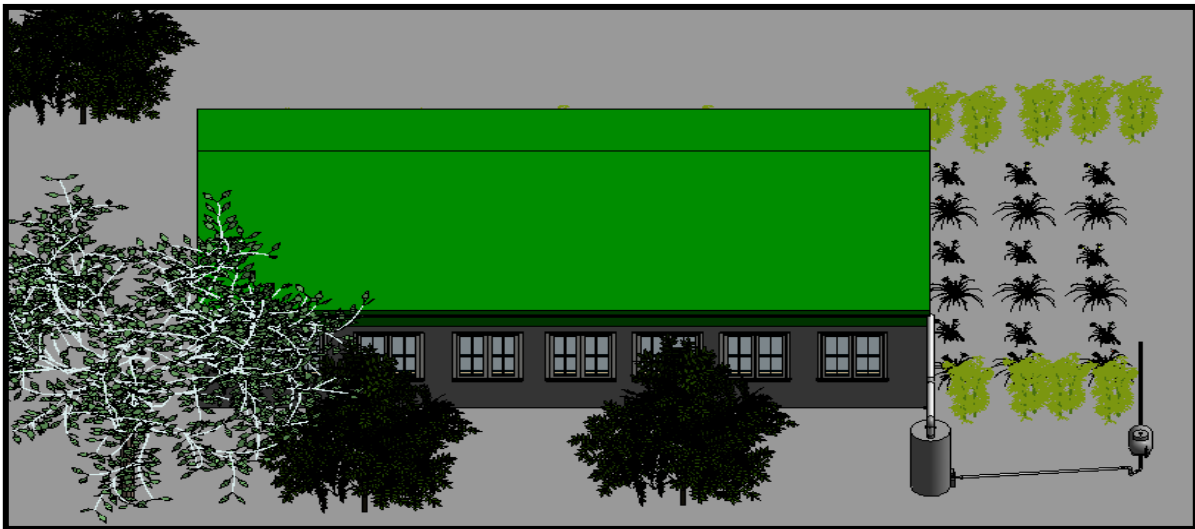


FIGURA N° 74: DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN AGUA LLUVIA. PERSPECTIVA DE LADO DE SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y ACUMULACIÓN.

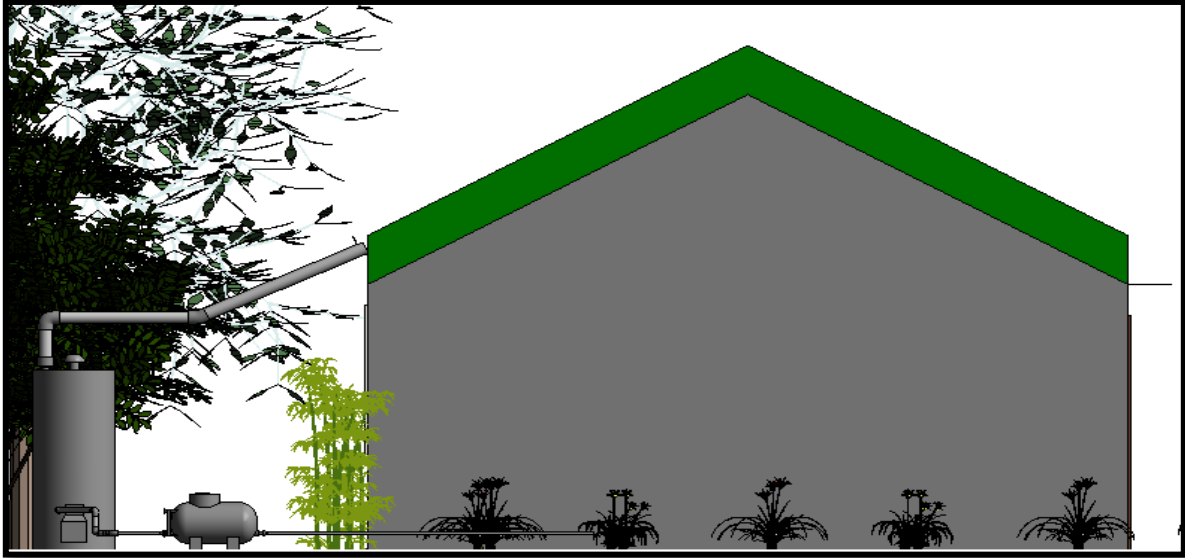


FIGURA N° 75: DISEÑO DE SISTEMA DE ACUMULACIÓN DE AGUA LLUVIA, BOMBA Y DIRECCIÓN A HUERTO.

El agua pasa por la bomba con la finalidad de que el recurso hídrico sea direccionado mediante tubería PVC hacia el jardín y huerto del establecimiento.

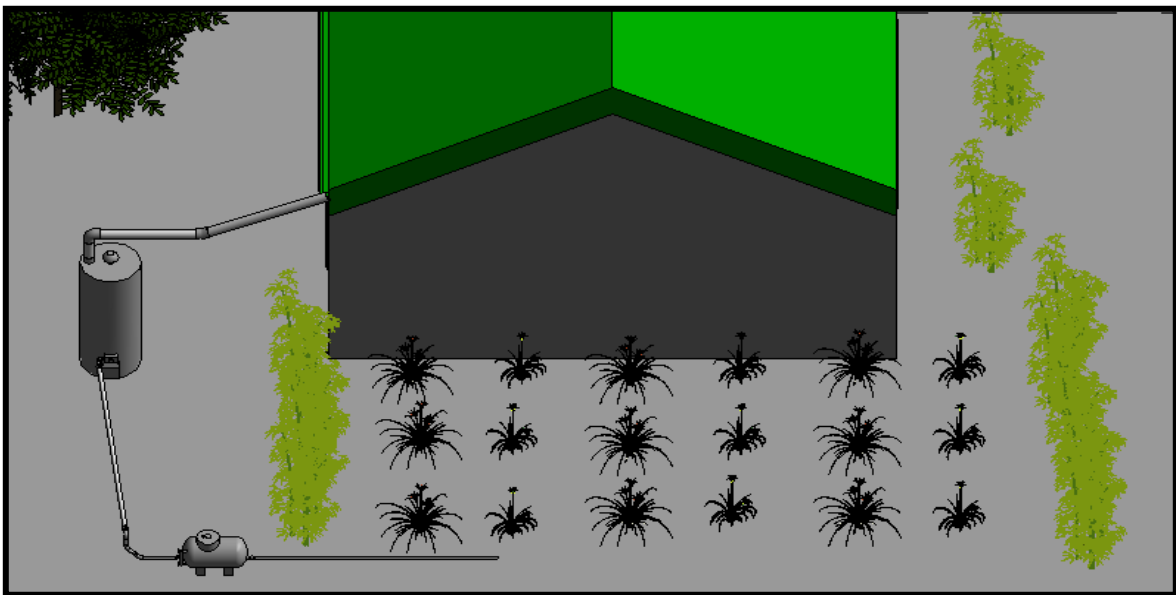


FIGURA N° 76: SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ESCUELA DE LAGUNA VERDE.

La dirección del agua luego de pasar por el sistema de bombeo será mediante una manguera para lograr llegar hasta el huerto de la Escuela de Laguna Verde.

## 5.7 RESUMEN DE COSTOS

Para la determinación de los costos, fue necesario realizar una segunda visita a la Escuela de Laguna Verde, donde se determinó los materiales necesarios para la instalación y con esto, se hizo la cotización de cada uno de ellos. En la tabla 20 se presenta el detalle los costos.

TABLA N° 21: COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA.

Material	Cantidad	Valor (\$)
Gancho Fijación Canaleta	12	790
Abrazadera para tubo de bajada	3	790
Tapa canaleta P25	2	1190
Terminación PVC-P	2	290
Adhesivo humedad 240 cc	1	3190
Bajada PVC	1	3690
Codo 67.50 PVC	1	1990
Codo 87.5 PVC	1	1690
Tubo PVC	1	1040
Bomba periferica	1	36990
Canaleta 25 PVC	3	4690
Tubo bajada	1	3700
Estanque vertical 1300 L	1	90654
Filtro circular diametro 500 mm	1	25517
Cemento saco 25 kg	4	3590

Considerando el detalle mostrado en la tabla 20 se tiene que la estimación de la instalación de un sistema de captación de agua lluvia en un establecimiento tiene un costo total de: \$200,131. Cabe mencionar que dichos materiales fueron establecidos de acuerdo a las necesidades del establecimiento, pues hubo que contemplar compra de canaletas, ya que las que presentaba el colegio, no se encontraban en óptimas condiciones. También, para esta instalación en específico, se optó por un filtro circular para el estaque en lugar de un interceptor de primeras aguas. Es importante mencionar que los materiales que se requieran podrán variar en cuanto a tamaño y material esto dependiendo del uso que se le quiera dar al agua captada y presupuesto que se tenga para este tipo de instalaciones.

**CAPÍTULO 6**  
DISCUSIÓN

La escasez hídrica en Chile ha sido un tema de contingencia nacional durante los últimos años, pues las lluvias en las regiones centro- norte cada vez son más escasas y por esta misma razón es que se han estado buscando diversas soluciones y/o alternativas para poder ahorrar en el consumo de agua ya sea en industrias, hogares e incluso establecimientos.

Lo anteriormente mencionado puede ser respaldado con los antecedentes expuestos en el anexo 3 y 4.

Este año, al mes de junio, se habían registrado 106,7 mm, es decir, el mes junio más lluvioso de los últimos 15 años. Sin embargo, pese a que fue un año con más agua lluvia caída que los años anteriores, las cifras aún están muy lejos de un año normal. Durante los últimos 20 años, el 2020 ha sido el año más seco, siendo superado por el año 2019. Durante este año, la estadística de la Dirección Meteorológica de Chile, señala que se han acumulado 112, 8 mm (lo ideal serían 160 mm), mientras que el año pasado sólo precipitaron 82 mm durante todo el año, datos muy alejados de lo que fue el año 2000 donde llovió un total de 473,9 mm y 311,9 mm en el año 2001, mientras que en el año 2002 se registraron 600,8 mm, algo muy lejano a la realidad del año pasado y el actual.

Pese a que se considera que este año fue más lluvioso que el año pasado, sigue habiendo una brecha importante entre lo que fue la cantidad de agua de los años anteriores y los últimos. En Valparaíso, que es donde se desarrolla el presente trabajo, se presenta un total a la fecha de 259,40 mm, mientras que lo normal a la fecha es de 387,57 mm, dando como promedio 323,48 mm.

El funcionamiento del sistema diseñado refiere netamente a trabajar con agua lluvia, es por esto, que las cifras mencionadas son importantes. Pues, dependiendo del agua que logre caer en la región, será la cantidad que se logre captar y, por ende, almacenar. Si la cantidad de agua lluvia caída sigue disminuyendo como ha sido la constante de los últimos diez años, la cantidad de agua almacenada también tendrá una disminución, por tanto, la diferencia que se necesite para el regadío de jardines y huertos deberá ser igual compensada con agua potable, que es precisamente lo que se quiere evitar.

Con respecto a la estimación de agua para el regadío del huerto de la Escuela de Laguna Verde, se tiene que según los datos de evapotranspiración de referencia, los valores deben ir disminuyendo en los meses de junio- julio, esto debido a que la necesidad de agua se ve suplantada por el agua lluvia caída, por ende, no es mayor la necesidad de la planta o vegetal, mientras que los meses de primavera- verano, siendo los meses de diciembre y enero aquellos que presentan mayor valor de evapotranspiración de referencia, pues son aquellos meses donde las plantas presentan un elevado proceso de transpiración y evaporación, por ende, existe una mayor exigencia de agua para su proceso.

En la tabla n°20. donde se muestra la cantidad de agua necesaria por mes, no dice relación con la evapotranspiración de referencia, pues al tomar todos los vegetales presentes en la plantación hay que tener en cuenta los meses en los que estos se plantan. La mayoría de estos, se plantan durante el segundo semestre del año, por ende, en enero y febrero, pese a ser los valores más altos de ETC, no es realmente representativo ni se logra ver una gran diferencia con los otros meses, pues hay muchos que se cultivan en los meses de julio- agosto- septiembre, por ende, se verán similares en cantidad de agua que los meses mencionados, pero esto se debe a que están todos los vegetales contemplados.

Haciendo una comparación entre los valores de evapotranspiración de referencia y evapotranspiración calculada para cada vegetal, se presenta que efectivamente la evapotranspiración será mayor cuando los vegetales y hierbas sean cultivados en meses de verano.

Tomando en cuenta los registros de valores de evapotranspiración calculados para cada vegetal y hierba presente en el huerto de la Escuela de Laguna Verde, se quiso tomar como referencia otros estudios con la finalidad de lograr hacer una comparación en los valores obtenidos en el trabajo y con los que dicen los especialistas.

Para esto, se tomaron algunos de los vegetales, como el tomate, cabe mencionar que el cálculo del agua necesaria para el cultivo del establecimiento se hizo para 2m<sup>2</sup> de plantación donde se obtuvo una estimación de agua necesaria para su regadío de 5,18 L diarios.

Según el autor de Mundo Huerto una tomatera necesita entre 1.5 a 2.0 L diarios para su buen desarrollo. Hay que considerar que una tomatera es sólo una planta de tomate, mientras que, en el huerto del colegio, se encuentran 4 tomateras, lo que justificaría la cantidad de litros que dio como resultado de la estimación.

Por otro lado, la lechuga según Miguel Ángel Fueyo Olmo, uno de los autores de Horticultura, Producción de la lechuga, establece que en la primera semana del cultivo se dará riego de 1 a 2 L/m<sup>2</sup>, luego de que haya 16 a 18 hojas se regará una dosis de 4 a 8 L/m<sup>2</sup>. Posteriormente y hasta el final del cultivo, debe utilizarse una dosis de riego de 8 a 20 L/m<sup>2</sup>.

Mientras que, la estimación de agua calculada para 2m<sup>2</sup> fue de 10,8 L al día, por ende, si tendría relación con la cantidad de agua que establece el estudio, encontrándose cercano a los valores establecidos.

Según lo establecido en el Manual del cultivo de la papa en Chile, un buen cultivo de papa requiere de 450 mm a 550 mm de agua para un cultivo de 120-150 días, esto quiere decir que en un mes aproximadamente se necesitan de 112,5 mm, por ende, por día se necesitan 3,50-4,00 mm lo que se relaciona con los resultados de estimación obtenidos en el estudio ya que dio que se necesitan 4,82 L/m<sup>2</sup>, por lo tanto, se acercaría a lo establecido en el manual.

En cuanto a los diversos sistemas de captación y almacenamiento que existen para el agua lluvia es importante mencionar que los materiales a considerar para las diversas construcciones y el sistema elegido, dependerá de diversos factores que se describen con mayor profundidad en el capítulo próximo. Para la escuela de Laguna Verde, se debían considerar el factor espacio físico que existe para instalar este tipo de sistema. Además, fue necesario realizar una visita al establecimiento para analizar el sector mismo de la instalación del estanque, pues, lo ideal es que sea cercano al área que se quiere regar. Por último, también es importante considerar las canaletas que se encuentran cercanas al área de instalación, pues el techo más cercano será el área de captación, mientras que las canaletas serán aquellas responsables de retener el agua y desplazarla hacia el sector de conducción.

El sistema para elegir tanto para captar el agua como para acumularla dependerá del espacio físico con el que se cuente, de la cantidad de agua que se quiera acumular, la región en la que se instale el sistema y la finalidad que se le quiera dar al cuerpo de agua captada. Se relaciona con el espacio físico ya que por ejemplo para este estudio no tiene sentido instalar un sistema de geomembrana o estanque Australiano ya que no se cuenta con el espacio en el establecimiento para instalarlo, ni tampoco se quiere de una gran cantidad de agua acumulada para el riego de un huerto. También se relaciona con la región donde se instalan estos sistemas, ya que hay que tener en cuenta que en la zona debe haber una cantidad de agua lluvia considerable para poder captar, por lo tanto, en la zona norte, donde la cantidad de lluvia es mucho menor, no sería viable la instalación de estos sistemas. Por último, se debe tomar en cuenta la finalidad que se le quiera dar al agua almacenada, pues esto tendrá relación con la cantidad de agua que se capta. Si se quiere dar finalidad a esta agua para una empresa, agua de riego, consumo animal y los terrenos y cantidad de animales son considerablemente grandes, lógicamente la cantidad de agua deberá ser mayor, por lo tanto, el tipo de almacenamiento también deberá ser más grande.

**CAPÍTULO 7**  
**CONCLUSIONES**

Con respecto a la estimación de la demanda de agua que necesitará el huerto escolar creado en la escuela de Laguna Verde, se logró realizar los cálculos mediante la aplicación del término de la evapotranspiración, concepto que dice relación con el agua perdida por el vegetal, por ende, la que se debe recuperar mediante el proceso de riego.

Una vez realizados los cálculos se pudo realizar una estimación de lo que necesitaba cada cultivo mediante los meses en los que se encontraba el proceso de vegetación para los 2m<sup>2</sup> y además, se realizó una estimación de la cantidad de agua necesaria para todo el huerto para todos los meses del año, donde se observó que en el mes de noviembre, lo que tiene relación con la cantidad de vegetales que se cultivan en ese mes, además del valor de evapotranspiración de referencia que va en aumento.

Se indagó e investigó sobre otros informes, noticias y blogs sobre cultivo y formación de huertos con la finalidad de saber qué tan cercano estaban los valores de lo que decían los expertos. En relación con esto, se pudo extraer que los valores calculados y estimados eran bastante similares a lo que decían los profesionales de la vegetación, por ende, son cálculos que se pueden aplicar para la elaboración de cualquier huerto incluso, en un hogar.

En relación con la realización del levantamiento de información de las tecnologías de sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias, se pudo sintetizar que existen diversas formas para lograr captar el agua y también para acumularla.

En cuanto al sistema de captación y reutilización de agua lluvia que se instalará en el establecimiento del sector de Laguna Verde, cabe mencionar que se tomó la decisión de instalar el estanque de almacenamiento en esa área debido a que es lo más cercano al huerto del colegio.

Por último, es importante mencionar que todo lo anterior mencionado se pudo visualizar ya que se estuvo de manera in situ, por ende, se pudieron tomar medidas reales de las canaletas, sector de instalación del estanque y bomba. Además, también debido al estudio presentado será posible la real instalación del sistema, ya que gracias a la información recopilada se pudo postular a un proyecto en la Universidad de Playa Ancha relacionado con vinculación con el medio, obteniendo así los fondos para hacer posible su instalación.

**CAPÍTULO 8**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- ARAYA (2015), Factibilidad técnico-económica de un sistema de reciclaje de aguas grises para chacra “La Esperanza”, comuna de Limache, Región de Valparaíso.
- BANCO MUNDIAL (2011), Recursos disponibles y extracciones por usos consuntivos.
- D.S 90 (2001). Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Obtenido de D.S N°90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la presidencia.
- FAO (2013), Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, sistema de captación de agua lluvia.
- FAO (2009), Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, Orientaciones para la implementación del huerto escolar.
- GÓMEZ Y FERNÁNDEZ (2018) Cosecha agua.
- INIA (2016), Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (2005), Dirección General de Aguas.
- MANAHAN. S. (2007), Introducción a la química ambiental.
- MINVU (2010), Placilla de Peñuelas memoria y tradición.

- MILLANIR, N. (2003). Proyecto de factibilidad de instalación de redes de alcantarillado y agua potable sector Curaumilla-Laguna Verde. Tesis de Licenciatura. Departamento de Diseño y Manufactura, Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar, Chile, 90 pp.
- MINEDUC (2015), Ministerio de educación, ficha de establecimiento, Escuela de Laguna Verde, Valparaíso.
- MINISTERIO DEL INTERIOR Y SEGURIDAD PÚBLICA (2015), Política nacional para recurso hídricos.
- MOREIRA-MUÑOZ A. Y SALAZAR A. (2014). Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas: micro-región modelo para la planificación del desarrollo regional sustentable. En: Reservas de la biosfera de Chile: Laboratorios para la sustentabilidad (Moreira-Muñoz A. y Borsdorf A., Eds.). Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto Interdisciplinario de Investigación sobre la montaña, Academia de Ciencias Austríacas. Santiago, Chile, pp. 106-122.
- MOP (2015), Ministerio de obras públicas, dirección general de aguas, estimación de la demanda de agua para cultivos.
- MOP (2013), Ministerio de obras públicas, estrategia nacional de recursos hídricos, Chile cuida su agua.
- NCh.1333 (1987). Norma Chilena 1333 "Requisitos de calidad del agua para diferentes usos". Modificada en 1987.

- ODEPA (2019), Oficina de estudios y políticas agrarias, panorama de la agricultura chilena.
- PLADECO (2006) Plan de desarrollo comunal de Valparaíso. Diagnóstico comunal.
- RIVERA (2020), Calidad de agua del estero el Sauce, Valparaíso, Chile Central.  
CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO EL SAUCE, VALPARAÍSO, CHILE CENTRAL
- RUÍZ (2015), Revista agrícola – recursos hídricos.
- Torres, T. T. (2014). Evaluación de la calidad del agua del estero El Sauce, Laguna Verde: Impacto y consecuencias. Valparaíso.
- UNESCO (2015), Organización de las naciones unidades para la educación, la ciencia y la cultura. Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales en Chile.

## **ANEXOS**

**Anexo 1:**



## Región de Valparaíso

Viernes 30 octubre de 2020 | 21:01

### **Vecinos de Laguna Verde se manifestaron por la contaminación del agua en Valparaíso**

Por [José Muñoz](#)

La información es de [Camila Olguin](#)

Vecinos de Laguna Verde piden que se proteja el recurso hídrico del sector y acusan que se han **convertido en una nueva zona de sacrificio**. Agrupaciones medioambientales y vecinos de Laguna Verde **se manifestaron para mostrar su descontento** y preocupación por la **contaminación del agua en la comuna**.

Esto, ya que acusan que el recurso hídrico estaría afectado por **desechos que emanan desde un vertedero cercano** y también desde el estero El Sauce, el que desemboca al tranque La Luz de Placilla.

Debido a esta situación, se interpuso previamente un **recurso de protección por la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas** de la zona.

Acción que habría sido acogida por la Corte de Apelaciones de Valparaíso. Sin embargo, Consuelo Requena, abogada y quien presentó este recurso dijo que **el proceso se ha dilatado**.

Rodrigo Mundaca, vocero nacional del Movimiento de Defensa del Agua, la Tierra y la Protección del Medioambiente (MODATIMA) agregó que le parece impropio que **no se garantice el agua para la comunidad**.

**Anexo 2:**



**Región de Valparaíso**

Martes 04 abril de 2017 | 13:13

# **Vecinos de Laguna Verde acusan a Esva por contaminación de estero El Sauce en Valparaíso**

por [Maximiliano Ortiz](#)

En Laguna Verde **se reabrió la preocupación por la contaminación del estero El Sauce**, que desemboca en esa zona tras recorrer casi 13 kilómetros desde Placilla, en Valparaíso.

La inquietud despertó al considerar que en el último verano **nuevamente los zancudos, mosquitos y malos olores afectaron a los habitantes** del lugar.

La presidenta de la ONG Defensoría Laguna Verde, Vivian Matamala, expresó su preocupación por las consecuencias sanitarias que podría tener para los laguninos el contacto con el agua contaminada.

La **planta de tratamiento de aguas servidas de Esva**, ubicada en el sector de Placilla, es **sindicada como una de las responsables** de la contaminación de las aguas del estero.

Consultados por La Radio, **desde la empresa aseguraron que la planta de tratamiento está funcionando con normalidad** y todos los índices y niveles relacionados con su operación cumplen la norma exigida.

Asimismo, indicaron que las aguas son sometidas a un **riguroso tratamiento** antes de ser devueltas al cauce natural, según detalló el subgerente zonal de Esva, Hernán Berríos.

Para confirmar si la empresa cumple con la norma exigida, Radio Bío Bío se contactó con el jefe de la oficina regional de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, Carlos Órdenes, quien indicó que -de acuerdo a los resultados de los últimos muestreos hechos en el lugar- **Esva no está incumpliendo la norma.**

demás de la planta de tratamiento, a los vecinos de Placilla y Laguna Verde les preocupa que en el recorrido de este curso natural del estero se han detectado múltiples escombros y descargas de terceros, una situación que también contribuye a la contaminación de éste.

### Anexo 3:



## **Después de dos años se registra la primera jornada de lluvia en agosto ¿Ayuda a romper la sequía que afecta a la zona central?**

[Carlos Montes](#)

**26 AGO 2020** 03:03 PM

Los 6,8 mm caídos este martes (y durante la madrugada de hoy), terminaron un mes seco durante dos años seguidos. En Valparaíso, Rancagua, La Serena y Santiago, este agosto fue más lluvioso que los anteriores.

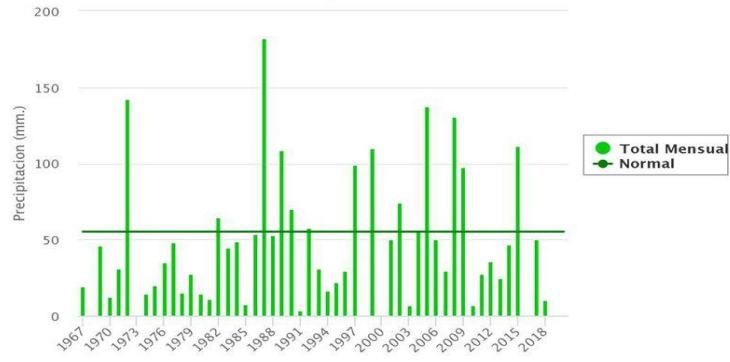
Si bien agosto no es el mes más lluvioso del año en Chile (junio), habitualmente registra precipitaciones (ver gráfica a continuación). Sin embargo, previo a la jornada de ayer, se cumplían dos años sin lluvias.

Todo indicaba que la Región Metropolitana finalizaría sin agua caída durante agosto. Las últimas lluvias durante el octavo mes del año, correspondieron a 2018, cuando cayeron 10,5 mm de agua.

Esta estadística se rompió ayer. La lluvia comenzó en la tarde y se extendió hasta la medianoche (incluso parte de la madrugada de hoy). Los registros de la Dirección Meteorológica de Chile marcaron 6,8 mm en la Estación Quinta Normal.

A pesar del agua caída, las cifras siguen siendo negativas. Raúl Cordero, climatólogo de la Universidad de Santiago, establece que “todos los meses de agosto desde 2009 a la fecha, han presentado déficit de precipitaciones, con la única excepción de 2015 (se registraron 111,4 mm)”.

### Precipitación Histórica de Agosto Normal y Observada



Anexo 4:



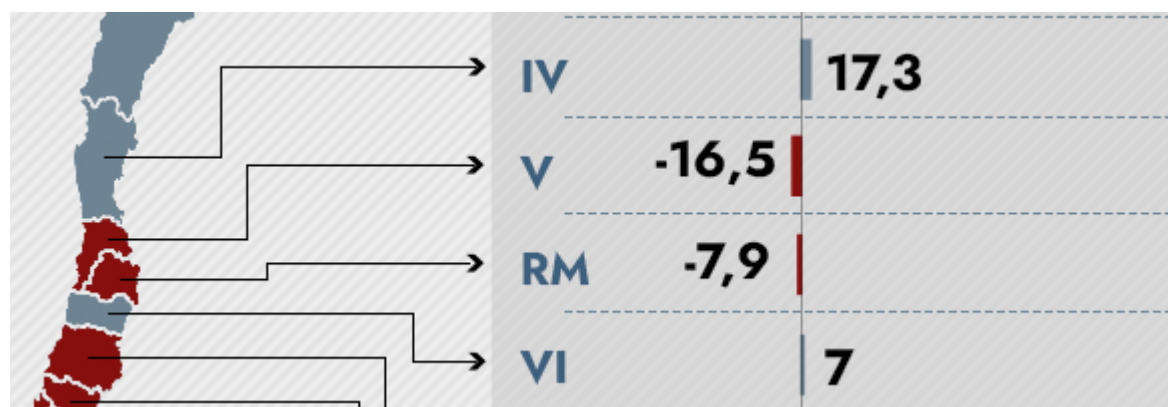
Santiago: Lunes 16 de noviembre del 2020 | Actualizado 21:45

### Cuáles son los niveles de agua caída por región y la diferencia con la cantidad de lluvia normal a la fecha

Pese a que la mayoría de las regiones aún presenta un déficit respecto a la tasa histórica, zonas que arrastraban largos problemas como Coquimbo ya presentan un superávit.

**Región**  
(Estación)      ■ A la fecha      ■ Normal a la fecha

**Valparaíso**  
(Punta Ángeles faro)      180,0  
215,6



## Anexo 5:



El cultivo del tomate es **muy sensible tanto a la falta como al exceso de humedad** en el suelo, por lo que en cultivo en invernadero habrá que recurrir al riego, al igual que en los cultivos al aire libre cuando hay escasez de lluvias —normalmente el tomate se cultiva en la época más seca del año.

La disponibilidad de agua es importante durante todo el ciclo, pero especialmente cuando las plantas están en la **etapa de semillero**, antes de la formación de los frutos o en días de mucho calor. En las variedades indeterminadas —de producción escalonada— las necesidades serán más estables a lo largo de todo el ciclo ya que la floración no cesa.

Se estima que —en función de las condiciones climáticas— el **consumo diario de agua de una tomatera adulta está entre 1.5 y 2 litros**, por lo que el suelo deberá poder aportárselos. Este dato es especialmente útil para el cultivo del tomate en macetas ya que nos da una idea de cuánta agua tenemos que aportar por día a cada planta.

## Anexo 6:

*Tecnología Agroalimentaria. CIATA. Edición especial 1998*

**HORTICULTURA**

# *Producción de lechuga*

## *Semilleros para la producción de planta de calidad. Conceptos para el manejo eficiente del riego*

### **PRODUCCIÓN DE PLANTA DE CALIDAD**

Para iniciar el cultivo de lechuga el horticultor tiene dos opciones: adquirir la planta en una empresa especializada o producirla el mismo. En ambos casos, además de contar con la variedad idónea para cada época del año, tiene que partir de una buena calidad, tanto en el desarrollo vegetativo como en el estado sanitario. Los aspectos más relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de iniciar el proceso de producción de planta de lechuga de calidad son: el sustrato, la siembra, el riego, la fertilización, el manejo de las temperaturas y el control preventivo de plagas y enfermedades.

#### **¿Cuándo hay que regar?**

El objetivo es mantener la humedad del suelo a un nivel determinado de agua utilizable, evitando las situaciones extremas. La cantidad de agua consumida o evaporada por las plantas dependerá de las condiciones de temperatura y luminosidad y se mide como Evapotranspiración.

Antes de la plantación se aplican los riegos necesarios para aproximar la humedad del suelo a la RFU. – Después del trasplante se da un riego para completar la RFU y asegurar el contacto del cepellón con el terreno.

En la primera semana de cultivo, si se resecaen los cepellones se darán riegos de 1-2 litros/m<sup>2</sup>. A continuación, y hasta el estado de 16-18 hojas se regará con dosis bajas de 4-8 l/m<sup>2</sup>.

Posteriormente, hasta el final del cultivo, deben utilizarse dosis de riego de 8-20 l/m<sup>2</sup>.

**Colaboración técnica:**

Miguel Ángel FUEYO OLMO  
Atanasio ARRIETA ILLUMBE  
Isabel FEITO DIAZ