

# Tabla de contenido

---

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivo General .....	2
1.2	Objetivos Específicos.....	2
1.3	Alcances .....	2
2	Metodología.....	3
3	Antecedentes.....	5
3.1	CET Valle Verde.....	5
3.2	Clima de la zona.....	6
3.3	Invernadero.....	7
3.4	Cultivos .....	9
3.5	Balance energético en invernaderos.....	10
3.5.1	Radiación neta.....	11
3.5.1.1	Radiación solar.....	11
3.5.1.2	Radiación térmica.....	12
3.5.2	Calor por conducción-convección .....	13
3.5.3	Calor sensible y latente por la renovación del aire interior .....	14
3.5.4	Conducción a través del suelo .....	15
3.5.5	Calor latente consumido en la evapotranspiración .....	15
3.6	Bombas de calor .....	16
3.7	Fuente geotérmica .....	18
3.8	Bomba de calor geotérmica.....	21
3.8.1	Extracción de calor .....	23
3.8.1.1	Intercambio de calor.....	23
3.8.1.2	Pérdida de carga .....	25
3.8.2	Inyección de calor .....	26
3.8.3	Costos de operación y mantención .....	27
3.9	Bombas de calor en invernaderos.....	27
3.10	Bombas geotérmicas en Chile .....	30
4	Resultados.....	31
4.1	Demanda térmica del invernadero.....	31
4.2	Dimensionamiento analítico del colector enterrado.....	37
4.3	Modelación del intercambiador de calor .....	42
4.3.1	Modelación 2D .....	42

4.3.2	Modelación 3D .....	45
4.3.2.1	Separación entre tubos .....	45
4.3.2.2	Largo del colector .....	49
4.4	Equipos secundarios.....	54
4.5	Calefacción en el invernadero .....	55
4.6	Evaluación económica.....	60
4.6.1	Ingresos .....	60
4.6.2	Inversión inicial .....	60
4.6.2.1	Materiales .....	60
4.6.2.2	Equipos.....	61
4.6.2.3	Mano de obra.....	62
4.6.3	Costos de operación .....	63
4.7	Balance final.....	66
5	Discusión .....	68
5.1	Resultados obtenidos.....	68
5.2	Relevancia del estudio.....	73
5.3	Futuras investigaciones .....	73
6	Conclusiones.....	76
7	Bibliografía.....	77