

# Tabla de Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción y motivación.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Metodología.....	2
1.3.1. Actualización del modelo hidrogeológico Maipo-Mapocho.....	2
1.3.2. Escenarios de cambio climático.....	3
1.3.3. Análisis de sustentabilidad.....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Aguas Subterráneas: funcionamiento y relación con la superficie y el clima.....	5
2.3. Cambio climático y sus implicancias a nivel global.....	6
2.4. Cambio climático en Chile.....	9
2.4.1. Cambio climático en la Región Metropolitana de Chile y en la cuenca del Río Maipo.....	9
2.5. Efecto del cambio climático en aguas subterráneas.....	11
2.6. Modelación numérica para la evaluación de escenarios futuros.....	12
<b>3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>15</b>
3.1. Antecedentes generales de la cuenca del Río Maipo.....	15
3.2. Climatología e hidrología de la cuenca.....	16
3.3. Caracterización hidrogeológica del área de estudio.....	17
3.4. Recopilación y preparación de datos.....	18
3.4.1. Disponibilidad de información hidrogeológica.....	18

3.4.2.	Disponibilidad de información meteorológica .....	19
<b>4.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO .....</b>	<b>20</b>
4.1.	Modelo conceptual.....	20
4.1.1.	Límites y composición del acuífero Maipo-Mapocho.....	20
4.1.2.	Recargas y descargas .....	22
4.1.3.	Parámetros del modelo .....	27
4.1.4.	Condiciones de borde .....	28
4.2.	Modelo numérico.....	30
4.2.1.	Discretización espacial .....	30
4.2.2.	Discretización temporal.....	32
4.2.3.	Recargas y descargas .....	33
4.2.4.	Condiciones de borde .....	34
4.2.5.	Pozos de Observación.....	35
4.2.6.	Régimen permanente .....	37
4.2.7.	Régimen transiente .....	41
<b>5.</b>	<b>ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....</b>	<b>52</b>
5.1.	Datos históricos estación Cerro Calán.....	52
5.2.	Modelos de Circulación Global (GCM) representativos de la zona.....	53
5.3.	Tendencias de precipitación según los GCMs escogidos, aplicadas a la estación Cerro Calán. ....	56
5.4.	Función de transferencia para definir recargas .....	58
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....</b>	<b>59</b>
6.1.	Balances hídricos .....	59
6.2.	Equipotenciales .....	60
6.3.	Niveles proyectados sobre el acuífero .....	61

6.4.	Análisis de sustentabilidad futura del sistema .....	66
6.4.1.	Análisis cualitativo de niveles piezométricos.....	67
6.4.2.	Consumo de almacenamiento del acuífero.....	68
6.4.3.	Satisfacción de la demanda .....	71
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>75</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>78</b>
	Anexo A.....	78
	Anexo B.....	80

## Índice de Figuras

Figura 2-1.	Contribuciones al calentamiento global (IPPC, 2014) .....	6
Figura 2-2.	Emisiones de CO2 emitidas y proyectadas según escenarios RCP (Sanford, 2014).....	7
Figura 2-3.	Proyecciones de precipitación y temperatura (IPCC).....	8
Figura 2-4.	Proyecciones de cambio futuro respecto al periodo control para temperatura y precipitaciones (Centro de Cambio Global UC, 2017). .....	10
Figura 2-5.	Proyección de temperatura para la estación Embalse del Yeso. (Bocchiola, 2017).....	11
Figura 2-6.	Proyección de precipitaciones para la estación San Gabriel (Bocchiola, 2017).....	11
Figura 3-1.	Ubicación de la cuenca del río Maipo. ....	15
Figura 3-2.	Hidroclimograma de la cuenca del río Maipo. Precipitación y temperatura de la estación Quinta Normal (560 msnm) y caudal del río Maipo en el Manzano (1.230 msnm) (Centro de Cambio Global UC, 2017).....	16
Figura 3-3.	Ubicación del acuífero Maipo-Mapocho.....	17
Figura 3-4.	Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHACs), pertenecientes al acuífero.....	18
Figura 3-5.	Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Maipo .....	19
Figura 4-1.	Composición vertical de la zona hidrogeológica de estudio (DGA, 2000) .....	21
Figura 4-2.	Zonas de recarga dentro del acuífero.....	22
Figura 4-3.	Correlación entre precipitación media anual en estaciones meteorológicas presentes en el acuífero y recarga anual utilizada en el Modelo DGA 2000.....	23
Figura 4-4.	Correlación entre precipitación y recarga - Cerro Calán.....	24
Figura 4-5.	Pozos de Bombeo totales dentro del acuífero.....	26
Figura 4-6.	Parámetros iniciales del modelo.....	27
Figura 4-7.	Condiciones de borde de nivel constante .....	28
Figura 4-8.	Cauces situados sobre el acuífero.....	29
Figura 4-9.	A la izquierda discretización de todo el acuífero, a la derecha zoom de la zona alta del río Mapocho.....	30

Figura 4-10. A la izquierda vista en planta con línea (morada) de corte Oeste-Este. A la derecha vista frontal del corte. ....	31
Figura 4-11. A la izquierda vista en planta con línea (morada) de corte Norte-Sur. A la derecha vista frontal del corte. ....	32
Figura 4-12. Detalle de la discretización temporal del modelo.....	33
Figura 4-13. Recargas y descargas aplicadas al modelo. A la izquierda zonas de recarga. A la derecha pozos de bombeo.....	34
Figura 4-14. Condiciones de borde aplicadas al modelo. A la izquierda condiciones de nivel constante y a la derecha condiciones tipo río.....	35
Figura 4-15. Coeficientes de permeabilidad inicial para el régimen permanente. ....	38
Figura 4-16. Conductividad hidráulica final en régimen permanente.....	38
Figura 4-17. Gráfico de ajuste de Niveles Observados versus Niveles Simulados en régimen permanente .....	39
Figura 4-18. Distribución de los coeficientes de almacenamiento (S).....	42
Figura 4-19. Gráfico de ajuste lineal entre Niveles Observados y Simulados en régimen transiente.....	43
Figura 4-20. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de Buin .....	44
Figura 4-21. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de Colina Inferior .....	45
Figura 4-22. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de Colina Sur.....	45
Figura 4-23. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de El Monte Nuevo .....	46
Figura 4-24. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de Lampa .....	46
Figura 4-25. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de Lo Barnechea.....	47
Figura 4-26. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo en pozos de Paine .....	47
Figura 4-27. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo, en pozos de Pirque.....	48
Figura 4-28. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo, en pozos de Santiago Central (1).....	48
Figura 4-29. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo, en pozos de Santiago Central (2).....	49
Figura 4-30. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo, en pozos de Santiago Norte.....	49
Figura 4-31. Tendencias de niveles observados y simulados en el tiempo, en pozos de Vitacura .....	50
Figura 5-1. Criterio de elección de GCM basado en la comparación de deltas de precipitación y temperatura, entre los datos observados y simulados .....	54
Figura 5-2. Variación Estacional histórica para la variable Temperatura.....	55
Figura 5-3. Variación estacional histórica para la variable Precipitación.....	56
Figura 5-4. Tendencia de precipitación proyectadas según GCMs para la estación Cerro Calán.....	57
Figura 5-5. Recarga proyectada a ingresar al modelo.....	58
Figura 6-1. Equipotenciales. A la izquierda mapa del 2020, al centro mapa del 2070 (CMCC-CESM) y a la derecha (CSIRO-Mk3-6-0).....	60
Figura 6-2. Diferencia de equipotenciales (2070-2020). A la izquierda según CMCC-CESM. A la derecha según CSIRO-Mk3-6-0.....	61
Figura 6-3. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Buin.....	62
Figura 6-4. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Colina Inferior.....	62
Figura 6-5. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Colina Sur .....	62
Figura 6-6. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector El Monte Nuevo .....	63
Figura 6-7. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Lampa.....	63
Figura 6-8. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Lo Barnechea .....	63
Figura 6-9. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Paine.....	64
Figura 6-10. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Pirque .....	64
Figura 6-12. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Santiago Norte.....	64
Figura 6-11. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Santiago Central.....	65
Figura 6-13. Niveles históricos y proyectados en pozos del sector Vitacura.....	65
Figura 6-14. Sustentabilidad futura del acuífero, considerando el descenso de niveles .....	68

Figura 6-15. Cambios en el volumen almacenado para cada SHAC según CSIRO-Mk3-6-0.....	70
Figura 6-16. Satisfacción de la demanda en cada SHAC.....	72
Figura 0-1. Modelos CMIP5 .....	80

## Índice de Tablas

Tabla 3-1. Factor de uso del agua .....	19
Tabla 3-2. Estaciones meteorológicas ubicadas dentro del acuífero Maipo-Mapocho. Información oficial hidrometeorológica y de calidad de aguas (Dirección General de Aguas). .....	20
Tabla 4-1. Límites del acuífero en coordenadas UTM (contacto roca-relleno) .....	20
Tabla 4-2. Tasas de recarga anual a ingresar al modelo.....	24
Tabla 4-3. Caudal de extracción anual.....	26
Tabla 4-4. Pozos de observación presentes en el acuífero .....	36
Tabla 4-5. Valores del Error Absoluto Medio y Error Cuadrático Medio luego de la calibración del modelo en régimen permanente. ....	40
Tabla 4-6. Balance hídrico global del modelo actualizado al año 1998.....	40
Tabla 4-7. Balance hídrico global del modelo DGA 2000.....	40
Tabla 4-8 Estadísticos para la medida de errores del modelo post calibración.....	43
Tabla 4-9. Balance Hídrico Global para el año 2020.....	50
Tabla 4-10. Balance Hídrico Global promedio del periodo (1998-2020) .....	51
Tabla 5-1. Datos históricos de precipitación y temperatura observados en la estación Cerro Calán.....	52
Tabla 5-2. Variación promedio de las precipitaciones en el periodo futuro (2020-2070) .....	56
Tabla 5-3. Variación del promedio histórico observado según los dos GCMs que definen el rango de cambio.....	57
Tabla 6-1. Balance hídrico global promedio del acuífero para el periodo proyectado, sin considerar cambios en la recarga.....	59
Tabla 6-2. Balance hídrico global promedio del acuífero para el periodo proyectado según CMCC-CESM.....	59
Tabla 6-3. Balance hídrico global promedio del acuífero para el periodo proyectado según CSIRO_Mk3-6-0.....	60
Tabla 6-4. Sustentabilidad futura del acuífero considerando el descenso de niveles.....	67
Tabla 6-5. Volúmenes por SHAC al año 1998 y 2070.....	69
Tabla 6-6. Variación porcentual de volúmenes.....	69
Tabla 6-7. Satisfacción de la demanda en el año 2070 .....	71
Tabla 6-8. Niveles de sustentabilidad futura para cada SHAC del acuífero .....	72
Tabla 0-1. Distribución de la recarga.....	78