

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
SUMMARY	10
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Modelos de Simulación	14
2.1.1 Tipos de modelado de simulación	14
2.1.2 ¿Qué es una simulación?	15
2.1.3 Ventajas e inconvenientes de la simulación	16
2.1.4 Software para simulación	18
2.1.5 Dinámica de sistemas	19
2.2 Respecto al Uso de Recursos Hídricos	24
2.2.1 Crisis hídrica	24
2.2.2 Ciclo del agua	25
2.2.3 Tipos de uso de agua	28
2.2.4 Huella hídrica	29
2.2.5 Balance Hídrico.....	31
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	34
3.1 Fases del proceso de modelado	34
3.1.2 Elaboración de modelo conceptual	35
3.1.3 Cuantificación de modelo	36
3.1.4 Validación de modelo.....	38
3.1.5 Explotación de modelo.....	39
3.2 Fuentes de datos	39
3.3 Documentación.....	42
CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	44

4.1 Modelo de Dinámica de Sistemas.....	44
4.1.1 Definición de problema	46
4.1.2 Elaboración de modelo conceptual	47
4.1.3 Cuantificación de modelo.....	51
4.1.4 Validación del modelo.....	60
4.2 Recopilación de datos.....	62
4.2.1 Evapotranspiración	62
4.2.2 Escorrentía	64
4.2.3 Precipitación	65
4.3 Simulaciones preliminares	65
4.3.1 Primera Simulación.....	66
4.3.2 Segunda Simulación	72
4.3.3 Tercera Simulación	78
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS.....	83
5.1 Análisis estado inicial agua subterránea	83
5.2 Análisis con cambio en la extracción	85
5.3 Análisis con cambios en promedio extracción mensual e incremento en la producción	88
5.4 Análisis general	90
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXO I. Modelo Ciclo del Agua Sin Agentes.....	97
ANEXO II. Modelo del Ciclo del Agua Con Agentes.....	98
ANEXO III. Modelo del Ciclo del Agua Con Agentes e Interacción Humana	99
ANEXO IV. Documentación Variables de Modelo	100
ANEXO V. Tabla Evapotranspiración total año 2019	116
ANEXO VI. Tabla Evapotranspiración total año 2020	116

ANEXO VII. Tabla Evapotranspiración total año 2021	117
ANEXO VIII. Tabla Evapotranspiración total año 2022	117
ANEXO IX. Derecho de agua San Clemente, subcuenca río Claro (2019-2022).....	118
ANEXO X. Mapa tipos de derecho de agua San Clemente, subcuenca río Claro (2019 - 2022)	118
ANEXO XI. Mapa derecho de agua San Clemente, considerando subcuencas río Claro, Maule Medio y Maule Alto	119
ANEXO XII. Mapa derecho de agua San Clemente, subcuenca río Claro.....	120
ANEXO XIII. Tabla Valores Precipitación 2019 – 2021	120
ANEXO XIV. Tabla Uso Consuntivo Agua subterránea.....	122
ANEXO XV. Tabla Valores Simulación 1 Agua Subterránea.....	123
ANEXO XVI. Tabla Valores Simulación 2 Agua Subterránea.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos para diagramas de acumulador y flujo	37
Tabla 2. Comparación de nivel de prioridad para la aplicación de la metodología del balance hídrico en macrozona centro.....	41
Tabla 3. Derechos de agua asociados a cada cuenca en macrozona centro.....	42
Tabla 4. Evapotranspiración total de San clemente (enero 2019 – agosto 2022).....	63
Tabla 5. Caudal anual promedio en base a derechos de agua, San Clemente – Río Claro ..	64
Tabla 6. Total Precipitaciones durante los periodos de 2019 -2021	65
Tabla 7 Documentación de variables del modelo.....	100
Tabla 8 Tabla Evapotranspiración total año 2019	116
Tabla 9 Tabla Evapotranspiración total año 2020	116
Tabla 10 Tabla Evapotranspiración total año 2021	117
Tabla 11 Tabla Evapotranspiración total año 2022	117
Tabla 12 Derecho de agua San Clemente, subcuenca río Claro (2019-2022)	118
Tabla 13 Tabla Valores Precipitación 2019 – 2021	121
Tabla 14 Tabla Uso Consuntivo Agua subterránea.....	122
Tabla 15 Tabla Valores Simulación 1 Agua Subterránea	123
Tabla 16 Tabla Valores Simulación 2 Agua Subterránea	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama causal de un sistema de primer orden con realimentación negativa.	20
Figura 2. Diagrama de flujos de un sistema de primer orden con realimentación negativa. ...	21
Figura 3. Diagrama de primer orden con realimentación positiva.....	21
Figura 4. Crecimiento en S de una variable.	22
Figura 5. Diagrama causal de crecimiento en S.....	22
Figura 6. Diagrama causal de un sistema de segundo orden.....	23
Figura 7. El ciclo del agua.....	26
Figura 8. Distribución del agua en el planeta.	28
Figura 9. Modelo interacción humano – recursos hídricos en el contexto de producción agrícola.....	29
Figura 10. Modelo final interacción humano – ciclo del agua	45
Figura 11. Modelo de bucle causal crisis hídrica.....	48
Figura 12. Diagrama de Forrester Crisis Hídrica	49
Figura 13. Representación de interacciones variables de stock & flows.....	50
Figura 14. Ejemplo modelo árbol causal	51
Figura 15. Árbol causal variable Agua en Plantas.....	52
Figura 16. Árbol causal variable Agua en superficie	53
Figura 17. Árbol causal variable Agua Subterránea	54
Figura 18. Árbol causal variable Río Maule.....	55
Figura 19. Árbol causal variable Río Claro.....	56
Figura 20. Árbol causal variable Agua filtrándose	57
Figura 21. Árbol causal variable Agua Potable.....	58
Figura 22. Árbol causal variable Planta de aguas servidas	58
Figura 23. Intersección comuna de San Clemente – Río Claro.....	64
Figura 24. Primer modelo simulado interacción humana – ciclo del agua	66
Figura 25. Gráfico Agua en nubes – Simulación1	67
Figura 26. Gráfico Agua en montañas – Simulación1	68
Figura 27. Gráfico Agua en plantas – Simulación1	69
Figura 28. Gráfico Agua en ríos y lagos – Simulación1.....	70
Figura 29. Gráfico Agua subterránea– Simulación1	71
Figura 30. Gráfico Caudal de corriente– Simulación1	71
Figura 31. Modelo Interacción humano – ciclo del agua para 2da simulación.....	72

Figura 32. Gráficos de comportamiento de variables de stock estables simulación 2	76
Figura 33. Gráficos de comportamiento de variables de stock exponenciales simulación 2..	77
Figura 34. Gráficos de comportamiento de variables de stock estables simulación 3.	81
Figura 35. Gráficos de comportamiento de variables de stock exponenciales simulación 3..	82
Figura 36. Gráficas de comportamiento del agua subterránea sin cambios	84
Figura 37. Gráficas del comportamiento del agua subterránea con cambios	86
Figura 38. Gráficas de comportamiento del agua subterránea con aumento excesivo,.....	87
Figura 39. Gráficas del comportamiento del agua subterránea con aumento.....	89