

# Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Formulación del estudio propuesto.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Metodología.....	3
Capítulo 2: Antecedentes del Área de Estudio.....	5
2.1 Ubicación y vías de acceso.....	5
2.2 Clima.....	5
2.3 Flora y Fauna.....	5
2.4 Marco Geológico.....	6
2.5 Geología Local.....	10
2.6 Estructuras locales.....	13
Capítulo 3: Marco Hidrogeológico.....	15
3.1 Descripción de unidades hidrogeológicas sector medio del río Loa.....	15
3.2 Parámetros hidráulicos sector medio del río Loa.....	17
3.3 Descripción de unidades hidrogeológicas sector Pampa Llalqui.....	17
3.3 Geometría de los acuíferos en Pampa Llalqui.....	21
3.4 Parámetros Hidráulicos acuífero Pampa Llalqui.....	22
Capítulo 4: Marco Teórico.....	23
4.1 Isótopos en aguas subterráneas.....	23
4.3 Sólidos totales disueltos (STD).....	26
Capítulo 5: Resultados.....	27
5.1 Razones Isotópicas.....	27
5.2 Niveles piezométricos.....	37
5.3 Isopiezas acuífero superior e inferior.....	38
5.4 Sólidos totales disueltos.....	40
5.5 Diagramas de Piper.....	49
Capítulo 6: Discusiones.....	55
6.1 Isótopos.....	55
6.2 Flujos por revisión de piezometría y comportamiento en la distribución de niveles.....	60
6.3 Caracterización de composición isotópica de los flujos regionales.....	65
6.4 Razón isotópica según influencia de flujos.....	68
6.5 Sólidos totales disueltos (STD).....	84
6.6 Clasificación hidroquímica.....	94

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones .....	100
7.1 Conclusiones .....	100
7.2 Recomendaciones .....	103
Bibliografía.....	104
Anexos .....	107
Anexo A: Tablas .....	107
Anexo B: Mapas y figuras .....	122

# Índice de figuras

Figura 1.1: Detalle de la zona de estudio, 30 km al oeste de Calama, Pampa Llalqui, II región de Chile, Antofagasta.....	1
Figura 2.1: Contexto geológico de la cuenca de Calama (modificada Blanco, 2008).....	6
Figura 2.2: Esquema de la evolución tectono-sedimentaria de la cuenca de Calama (modificada Blanco, 2008).....	7
Figura 2.3: Cuadro cronoestratigráfico de las unidades terciarias que rellenan la cuenca de Calama (modificado de Blanco,2008).....	9
Figura 2.4: Cuadro estratigráfico conceptual de la cuenca en Pampa Llalqui (Vai, 2013).....	10
Figura 2.5: Representación de las principales estructuras dentro de la cuenca de Calama (Jordan, 2015).....	14
Figura 3.1: Representación estratigráfica de la cuenca y sus distintas unidades acuíferas. (DGA,2012).....	15
Figura 3.2: Ubicación geográfica de sondajes Pampa Llalqui utilizados para definir geometría del acuífero.....	21
Figura 4.1: Línea meteórica mundial comparada con los cambios de composición isotópica del agua producto de diferentes procesos (Domenico y Schwartz, 1998).....	25
Figura 5.1: Mapa ubicación geográfica de muestras ADLS en las cuales se realizaron análisis de isotopía.....	27
Figura 5.2: Gráfico $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ ,razón isotópica muestras sector Pampa Llalqui.....	28
Figura 5.3: Mapa de ubicación geográfica de muestras de agua con información isotópica sector MC.....	30
Figura 5.4: Gráfico $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ ,muestras red de pozos Minera Centinela.....	31
Figura 5.5: Mapa de ubicación geográfica de muestras con análisis isotópico DMH.....	33
Figura 5.6: Gráfico $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ , razón isotópica muestras red de pozos DMH, gráfico en plana completa y leyenda en anexo B.....	34
Figura 5.7: Pozos pertenecientes al acuífero superior e inferior con registro de niveles estáticos correspondiente a las 3 zonas de estudio.....	37
Figura 5.8: Mapa de curvas piezométricas generadas a partir del Kriging del acuífero superior, con una resolución de 10 metros.....	39
Figura 5.9: Mapa de curvas piezométricas generadas a partir del Kriging del acuífero inferior, con una resolución de 10 metros.....	39
Figura 5.10: Mapa ubicación geográfica muestras con análisis químico de STD realizado por ADLS.....	40
Figura 5.11: Gráfico de concentración STD para aguas superficiales sector Pampa Llalqui, muestreo ADLS.....	41
Figura 5.12: Gráfico de concentración STD para muestras acuífero superior ADLS.....	41
Figura 5.13: Gráfico de concentración STD para muestras acuífero inferior ADLS.....	42
Figura 5.14: Gráfico de concentración STD Para muestras acuífero inferior zona Pampa Llalqui, muestreo realizado por Nazca.....	42
Figura 5.15:Mapa ubicación geográfica muestreo con análisis químico de STD realizado por MC.....	43
Figura 5.16: Gráfico de concentración STD para muestras de aguas superficiales sector MC...44	44
Figura 5.17: Gráfico de concentración STD en pozos habilitados en el acuífero superior sector MC.....	44

Figura 5.18: Gráfico de concentración de STD en pozos habilitados en el acuífero inferior sector MC.....	45
Figura 5.19: Mapa ubicación geográfica muestreo de STD realizado por DMH.....	46
Figura 5.20: Gráfico 1 de concentración STD red de pozos DMH.....	46
Figura 5.21: Gráfico 2 de concentración STD red de pozos DMH.....	47
Figura 5.22: Gráfico 3 de concentración STD red de pozos DMH.....	47
Figura 5.23: Gráfico 4 de concentración STD red de pozos DMH.....	47
Figura 5.24: Gráfico 5 de concentración STD red de pozos DMH.....	48
Figura 5.25: Diagrama de Piper red de pozos ADLS, muestras de agua superficial y acuífero superior.....	49
Figura 5.26: Diagrama de Piper red de pozos ADLS muestras acuífero inferior.....	50
Figura 5.27: Diagrama de Piper red de pozos MC muestras de aguas superficiales y acuífero superior.....	51
Figura 5.28: Diagrama de Piper red de pozos MC muestras acuífero inferior.....	52
Figura 5.29: Diagrama de Piper red de pozos DMH muestras de agua superficial y acuífero superior.....	53
Figura 5.30 Diagrama de Piper red de pozos DMH muestras acuífero inferior.....	54
Figura 6.1: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ muestras análisis isotópico sector Pampa Llalqui.....	56
Figura 6.2: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ muestras análisis isotópico red de pozos MC.....	57
Figura 6.3: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ muestras análisis isotópico red de pozos División Ministro Hales.....	58
Figura 6.4 : Mapa de flujo según interpretación de isopiezas, obtenidas a partir de los niveles piezométricos del acuífero inferior.....	61
Figura 6.5: Mapa de flujo según interpretación de isopiezas, obtenidas a partir de los niveles piezométricos del acuífero inferior.....	62
Figura 6.6 Ubicación de muestras agua superficial usadas en caracterización isotópica de flujos 1,2 y 3.....	63
Figura 6.7: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ de composición isotópica muestras de agua superficial asociadas a flujos regionales.....	65
Figura 6.8: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ composición isotópica de muestras red de pozos ADLS.....	66
Figura 6.9: Flujos encargados de la recarga del Sistema de acuíferos en la cuenca del Loa medio.....	69
Figura 6.10: Conceptualización de la descarga del acuífero inferior en el superior (Vai, 2013).....	70
Figura 6.11: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ de composición muestras red de pozos minera Centinela.....	71
Figura 6.12: Perfil dirección aproximada Este-Oeste sector Calama (modificado de Jordan,2015).....	71
Figura 6.13: Caracterización isotópica de los flujos encargados de la recarga del Sistema de acuíferos de la cuenca del Loa medio.....	73
Figura 6.14: Gráfico $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ de razón isotópica muestras red de pozos DMH.....	73
Figura 6.15: Caracterización isotópica de los flujos encargados de la recarga del Sistema de acuíferos de la cuenca del Loa medio.....	74
Figura 6.16: Gráfico de $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ de razón isotópica de muestras pertenecientes al acuífero inferior, para las distintas redes de pozos.....	76

Figura 6.17: Caracterización isotópica de los flujos encargados de la recarga del Sistema de acuíferos inferior en la cuenca de Calama.....	77
Figura 6.18: Gráfico de $\delta^{18}O$ vs $\delta^2H$ de razón isotópica de muestras pertenecientes al acuífero superior, para las distintas redes de pozos.....	78
Figura 6.19: Caracterización isotópica de los flujos encargados de la recarga del Sistema de acuíferos inferior en la cuenca de Calama.....	80
Figura 6.20: Ubicación muestras acuífero superior Pampa Llalqui con registro STD.....	80
Figura 6.21: Ubicación muestras acuífero inferior Pampa Llalqui con registro STD.....	82
Figura 6.22: Ubicación muestras con registro de STD red de pozos MC.....	85
Figura 6.23: Ubicación muestras con registro de STD red de pozos acuífero superior DMH.....	86
Figura 6.24: Ubicación muestras con registro de STD red de pozos acuífero inferior MC.....	88
Figura 6.25: Ubicación muestras con registro de STD red de pozos acuífero superior DMH.....	90
Figura 6.26: Mapa de zona contaminada inferida a través de las concentraciones de STD en el acuífero superior en las redes de pozos MC, DMH y ADLS .....	91
Figura 6.27: Ubicación muestras con registro de STD red de pozos acuífero inferior DMH.....	92
Figura 6.28: Diagrama de Piper red de pozos ADLS muestras de agua superficial y acuífero superior.....	94
Figura 6.29: Diagrama de Piper red de pozos ADLS muestras acuífero inferior.....	95
Figura 6.30: Diagrama de Piper red de pozos MC muestras de agua superficial y acuífero superior.....	96
Figura 6.31: Diagrama de Piper red de pozos MC muestras acuífero inferior.....	97
Figura 6.32: Diagrama de Piper red de pozos DMH muestras de agua superficial y acuífero superior.....	98
Figura 6.33: Diagrama de Piper red de pozos MC muestras acuífero inferior.....	99

## Índice de tablas

Tabla 3.1: Resumen de parámetros hidráulicos para los acuíferos sector medio del río Loa (modificada DGA, 2012).....	17
Tabla 3.2: Clasificación de aguas según cantidad de Sólidos totales disueltos (STD) basada en Schneider et al., (1996).....	22

## Índice de ecuaciones

Ecuación 4.1: Ecuación fraccionamiento isotópico.....	23
Ecuación 4.2: Recta Meteorica Mundial (Craig,1961).....	24