

## **TABLA DE CONTENIDO**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Geólogo.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Fundamentación del problema .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis de trabajo.....	2
1.4 Antecedentes de la zona de estudio .....	2
1.4.1 Ubicación y vías de acceso .....	2
1.4.2 Hidrografía .....	2
1.4.3 Geomorfología y clima .....	4
1.4.4 Actividades económicas .....	4
1.4.5 Asentamientos humanos .....	7
1.5 Antecedentes previos.....	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Toma de muestras de sedimentos fluviales .....	10
2.2 Análisis geoquímico de sedimentos fluviales .....	10
2.3 Procesamiento y presentación de datos .....	10
2.4 Datos de calidad del agua.....	11
3. MARCO GEOLÓGICO.....	14
3.1 Unidades litoestratigráficas .....	14
3.1.1 Unidades litoestratigráficas del Paleozoico.....	14
3.1.2 Unidades litoestratigráficas del Mesozoico .....	15
3.1.3 Unidades litoestratigráficas del Cenozoico .....	16
3.2 Intrusivos.....	16
3.3 Geología económica .....	16
4. RESULTADOS .....	19
4.1 Caracterización geoquímica y estadística de las muestras de sedimentos fluviales.....	19
4.2 Comparación con guías o normas internacionales.....	38
4.3 Datos de calidad de agua.....	46

5. DISCUSIONES .....	75
5.1 Geoquímica de los sedimentos activos .....	75
5.1.1 Geoquímica global de la zona .....	75
5.1.2 Geoquímica de la cuenca del río Huasco .....	76
5.1.3 Geoquímica de la subcuenca del río del Carmen y río Potrerillos .....	76
5.1.4 Geoquímica de las subcuencas del río Chollay y Estrecho .....	76
5.1.5 Análisis de componentes principales .....	77
5.2 Comparación con normas internacionales .....	77
5.3 Interacción de metales pesados con aguas .....	80
5.4 Interacción de metales pesados con cultivos .....	81
5.5 Limitaciones .....	82
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS .....	84
ANEXO A. ....	89
ANEXO B. ....	95
ANEXO C. ....	109
ANEXO D. ....	114
ANEXO E. ....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa político de la Provincia de Huasco. ....	3
FIGURA 2. Mapa de faenas mineras de la Provincia de Huasco (Fuente: SERNAGEOMIN, 2013). ....	5
FIGURA 3. Imagen satelital del campamento Barriales del proyecto Pascua-Lama. Al norte se observan las piscinas de acumulación y al sur los rajos abiertos del proyecto. .	6
FIGURA 4. Distribución geográfica de centros urbanos en la Provincia de Huasco (Fuente: INE, 2005). ....	7
FIGURA 5. Distribución geográfica de aldeas en la Provincia de Huasco (Fuente: INE, 2005). ....	8
FIGURA 6. Distribución geográfica de caseríos en la Provincia de Huasco (Fuente: INE, 2005). ....	8
FIGURA 7. Mapa de estaciones de monitoreo activas en la cuenca del río Huasco 2007-2008. ....	12
FIGURA 8. Marco geológico de la zona de estudio (simplificado). ....	18
FIGURA 9. Distribución geográfica de SiO <sub>2</sub> en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	22
FIGURA 10. Distribución geográfica de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	22
FIGURA 11. Distribución geográfica de TiO <sub>2</sub> en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	23
FIGURA 12. Distribución geográfica de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	23
FIGURA 13. Distribución geográfica de CaO en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	24
FIGURA 14. Distribución geográfica de MgO en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	24
FIGURA 15. Distribución geográfica de MnO en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	25
FIGURA 16. Distribución geográfica de Na <sub>2</sub> O en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	25
FIGURA 17. Distribución geográfica de K <sub>2</sub> O en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	26
FIGURA 18. Distribución geográfica de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	26
FIGURA 19. Distribución geográfica de Ag en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	27
FIGURA 20. Distribución geográfica de As en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	27
FIGURA 21. Distribución geográfica de Au en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	28
FIGURA 22. Distribución geográfica de Ba en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	28
FIGURA 23. Distribución geográfica de Bi en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	29

FIGURA 24. Distribución geográfica de Cd en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	29
FIGURA 25. Distribución geográfica de Ce en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	30
FIGURA 26. Distribución geográfica de Co en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	30
FIGURA 27. Distribución geográfica de Cr en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	31
FIGURA 28. Distribución geográfica de Cu en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	31
FIGURA 29. Distribución geográfica de Hg en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	32
FIGURA 30. Distribución geográfica de La en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	32
FIGURA 31. Distribución geográfica de Mo en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	33
FIGURA 32. Distribución geográfica de Nb en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	33
FIGURA 33. Distribución geográfica de Ni en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	34
FIGURA 34. Distribución geográfica de Pb en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	34
FIGURA 35. Distribución geográfica de Sb en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	35
FIGURA 36. Distribución geográfica de Sr en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	35
FIGURA 37. Distribución geográfica de V en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	36
FIGURA 38. Distribución geográfica de Y en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	36
FIGURA 39. Distribución geográfica de Zn en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	37
FIGURA 40. Distribución geográfica de Zr en sedimentos fluviales de la cuenca del Río Huasco. ....	37
FIGURA 41. Comparación de las concentraciones de As en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	39
FIGURA 42. Comparación de las concentraciones de Cd en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	40
FIGURA 43. Comparación de las concentraciones de Cr en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	41
FIGURA 44. Comparación de las concentraciones de Cu en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	42
Figura 45. Comparación de las concentraciones de Hg en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	43

FIGURA 46. Comparación de las concentraciones de Ni en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	44
FIGURA 47. Comparación de las concentraciones de Pb en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	45
FIGURA 48. Comparación de las concentraciones de Zn en sedimentos fluviales con respecto a las normas internacionales. ....	46
FIGURA 49. Concentraciones de Al en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007). ....	47
FIGURA 50. Concentraciones de Al en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008). ....	47
FIGURA 51. Concentraciones de Al en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008). ....	48
FIGURA 52. Concentraciones de Al en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008). ....	48
FIGURA 53. Concentraciones de As en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007). ....	49
FIGURA 54. Concentraciones de As en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008). ....	49
FIGURA 55. Concentraciones de As en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008). ....	50
FIGURA 56. Concentraciones de As en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008). ....	50
FIGURA 57. Concentraciones de Ca en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007). ....	51
FIGURA 58. Concentraciones de Ca en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008). ....	51
FIGURA 59. Concentraciones de Ca en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008). ....	52
FIGURA 60. Concentraciones de Ca en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008). ....	52
FIGURA 61. Concentraciones de Cl en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007). ....	53
FIGURA 62. Concentraciones de Cl en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008). ....	53
FIGURA 63. Concentraciones de Cl en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008). ....	54
FIGURA 64. Concentraciones de Cl en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008). ....	54
FIGURA 65. Concentraciones de Cu en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007). ....	55
FIGURA 66. Concentraciones de Cu en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008). ....	55
FIGURA 67. Concentraciones de Cu en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008). ....	56

FIGURA 68. Concentraciones de Cu en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	56
FIGURA 69. Concentraciones de Fe en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	57
FIGURA 70. Concentraciones de Fe en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	57
FIGURA 71. Concentraciones de Fe en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	58
FIGURA 72. Concentraciones de Fe en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	58
FIGURA 73. Concentraciones de K en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	59
FIGURA 74. Concentraciones de K en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	59
FIGURA 75. Concentraciones de K en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	60
FIGURA 76. Concentraciones de K en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	60
FIGURA 77. Concentraciones de Mg en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	61
FIGURA 78. Concentraciones de Mg en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	61
FIGURA 79. Concentraciones de Mg en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	62
FIGURA 80. Concentraciones de Mg en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	62
FIGURA 81. Concentraciones de Mn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	63
FIGURA 82. Concentraciones de Mn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	63
FIGURA 83. Concentraciones de Mn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	64
FIGURA 84. Concentraciones de Mn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	64
FIGURA 85. Concentraciones de Na en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	65
FIGURA 86. Concentraciones de Na en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	65
FIGURA 87. Concentraciones de Na en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	66
FIGURA 88. Concentraciones de Na en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	66
FIGURA 89. Concentraciones de PO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	67

FIGURA 90. Concentraciones de PO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	67
FIGURA 91. Concentraciones de PO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	68
FIGURA 92. Concentraciones de PO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	68
FIGURA 93. Concentraciones de SO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	69
FIGURA 94. Concentraciones de SO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	69
FIGURA 95. Concentraciones de SO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	70
FIGURA 96. Concentraciones de SO <sub>4</sub> en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	70
FIGURA 97. Concentraciones de Zn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2007).....	71
FIGURA 98. Concentraciones de Zn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	71
FIGURA 99. Concentraciones de Zn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	72
FIGURA 100. Concentraciones de Zn en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	72
FIGURA 101. Valores de pH en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct.2007).....	73
FIGURA 102. Valores de pH en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (feb. 2008).....	73
FIGURA 103. Valores de pH en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (jun. 2008).....	74
FIGURA 104. Valores de pH en muestras de agua de la cuenca del río Huasco (oct. 2008).....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Población de los principales asentamientos en la Provincia de Huasco (INE, 2005). .....	7
TABLA 2. Límite de normas internacionales a la concentración de metales pesados. ..	11
TABLA 3. Estaciones de monitoreo de calidad de aguas para la cuenca del río Huasco. ....	11
TABLA 4. Concentraciones máximas para elementos químicos en agua para riego (norma chilena). ....	13
TABLA 5. Medidas de posición y dispersión de las concentraciones elementales en muestra de sedimentos fluviales. ....	19
TABLA 6. Medidas de posición y dispersión de las concentraciones de óxidos en muestra de sedimentos fluviales. ....	20
TABLA 7. Coeficiente de Pearson para aquellos valores de correlación alta ( $\pm 0.70-0.89$ ) o muy alta ( $\pm 0.90-0.99$ ). ....	20
TABLA 8. Pesos de los componentes en análisis de los componentes principales. ....	21
TABLA 9. Porcentaje de muestras cuya concentración excede los límites fijados por las normas internacionales. ....	38
TABLA 10. Agrupación según componentes principales. ....	77