

## **Informe Final**

# **"DIAGNÓSTICO Y MUESTREO DE SUELOS PARA LA COMUNA DE HUASCO, REGION DE ATACAMA"**

**Diciembre 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice de Contenido .....	2
<b>1 GLOSARIO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 ACRÓNIMOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3 ABREVIATURAS .....</b>	<b>12</b>
<b>4 RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>14</b>
<b>5 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 GENERALIDADES NORMATIVAS Y METODOLÓGICAS .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2 ANTECEDENTES GENERALES DEL TERRITORIO DE HUASCO .....</b>	<b>18</b>
<b>6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>23</b>
<b>7 OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>7.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>24</b>
<b>7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>24</b>
<b>8 PLAN DE TRABAJO - METODOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
<b>8.1 METODOLOGÍA .....</b>	<b>25</b>
<b>8.2 ACTIVIDAD 2. ANALIZAR Y EVALUAR INFORMACIÓN DISPONIBLE .....</b>	<b>25</b>
8.2.1 Revisar y analizar antecedentes e investigaciones existentes .....	26
8.2.2 Evaluar la calidad de la información existente y sistematizarla .....	27
8.2.3 Identificar focos de preocupación / interés asociados a la calidad del suelo	28
<b>8.3 ACTIVIDAD 3. DETERMINAR CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES Y VARIABLES DE INTERÉS .....</b>	<b>28</b>
8.3.1 Proponer y desarrollar un plan de muestreo de suelos .....	28
8.3.2 Proponer y desarrollar un Plan de Muestreo de valores base (background) .....	29
8.3.3 Analizar en laboratorio las muestras extraídas .....	29
8.3.4 Análisis de resultados .....	30
8.3.5 Determinar la distribución espacial de contaminantes .....	38
8.3.6 Presentar los resultados .....	38
<b>8.4 ACTIVIDAD 4. DETERMINAR ZONAS DONDE SE SUPEREN LOS VALORES DE REFERENCIA .....</b>	<b>38</b>
8.4.1 Comparar resultados con valores de referencia .....	38
<b>8.5 ACTIVIDAD 5. DIFUNDIR LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO .....</b>	<b>39</b>
8.5.1 Consolidar los antecedentes generados .....	39
8.5.2 Editar un documento resumen .....	39
8.5.3 Efectuar una presentación final .....	39
<b>9 RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>9.1 ACTIVIDAD 1. REUNIÓN DE INICIO Y PRESENTACIÓN DEL PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>40</b>

<b>9.2</b>	<b>ACTIVIDAD 2. ANALIZAR Y AVALUAR INFORMACIÓN DISPONIBLE.....</b>	<b>40</b>
9.2.1	Revisar y analizar antecedentes e investigaciones existentes.....	40
9.2.2	Evaluar la calidad de la información existente y sistematizarla .....	84
9.2.3	Identificar focos de preocupación/interés asociados a la calidad del suelo	125
<b>9.3</b>	<b>ACTIVIDAD 3. DETERMINAR CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES Y</b>	
	<b>VARIABLES DE INTERÉS.....</b>	<b>141</b>
9.3.1	Proponer y desarrollar un plan de muestreo de suelos .....	141
9.3.2	Proponer y desarrollar un Plan de muestreo de valores base	
	(background) .....	176
9.3.3	Analizar en laboratorio las muestras extraídas.....	190
9.3.4	Análisis de resultados .....	191
9.3.5	Determinar la distribución espacial de contaminantes.....	210
9.3.6	Presentar los resultados .....	212
<b>9.4</b>	<b>ACTIVIDAD 4. DETERMINAR ZONAS DONDE SE SUPEREN LOS VALORES DE</b>	
	<b>REFERENCIA .....</b>	<b>212</b>
9.4.1	Comparar resultados con valores de referencia.....	212
9.4.2	proponer valores de concentración de contaminantes referenciales....	242
9.4.3	Elaborar representaciones cartográficas de la comparación realizada	272
<b>9.5</b>	<b>ACTIVIDAD 5. DIFUNDIR LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>279</b>
9.5.1	Consolidar los antecedentes generados .....	279
9.5.2	Editar un documento resumen.....	279
9.5.3	Efectuar una presentación final .....	279
<b>9.6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>280</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>282</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>286</b>
11.1	<i>Anexo 1: Minuta y ppt de la reunión de Inicio (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.2	<i>Anexo 2: Reporte Emisiones de Fuentes Puntuales (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.3	<i>Anexo 3: Reporte Emisiones de Fuentes Difusas (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.4	<i>Anexo 4: Reporte Emisiones de Transporte (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.5	<i>Anexo 5: Reporte Residuos No Peligrosos (digital).....</i>	<i>286</i>
11.6	<i>Anexo 6: Reporte Residuos Peligrosos (digital).....</i>	<i>286</i>
11.7	<i>Anexo 7: Listado completo de Proyecto SEIA (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.8	<i>Anexo 8: Plan de Muestreo (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.9	<i>Anexo 9: Fichas de terreno y fotografías (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.10	<i>Anexo 10: Informe Biodisponibilidad (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.11	<i>Anexo 11: Informe SGS con análisis original de muestras y análisis</i>	
	<i>IDEAMBIENTE (digital).....</i>	<i>286</i>
11.12	<i>Anexo 12: Informe AGROLAB (digital) .....</i>	<i>286</i>
11.13	<i>Anexo 13: Distribución espacial de las muestras (digital).....</i>	<i>286</i>
11.14	<i>Anexo 14: Presentación Resultados Segundo Informe de Avance (digital)</i>	
	<i>286</i>	
11.15	<i>Anexo 15: Representación Cartográfica de las comparaciones con valores</i>	
	<i>de referencia (digital).....</i>	<i>286</i>

<b>11.16 Anexo 16: Cálculo de Valores de Alerta (digital)</b> .....	<b>286</b>
<b>11.17 Anexo 17: Resumen de Información Proyecto (digital)</b> .....	<b>286</b>
<b>11.18 Anexo 18: Presentación Resultados Informe Final (digital)</b> .....	<b>286</b>

## FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LA PROVINCIA Y COMUNA DE HUASCO.....	19
FIGURA 2. ESTACIONES DE MONITOREO EN HUASCO .....	22
FIGURA 3. TRIÁNGULO TEXTURAL DEL SUELO MOSTRANDO LOS PORCENTAJES DE ARCILLA, LIMO Y ARENA DE LAS CLASES TEXTURALES (LUTERS, 2000).....	33
FIGURA 4. LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES PUNTUALES ESTUDIADAS DE LA COMUNA DE HUASCO 2017 .....	43
FIGURA 5. UBICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS DE RESIDUOS NO PELIGROSOS ESTUDIADAS DE LA COMUNA DE HUASCO AÑO 2017.....	48
FIGURA 6. UBICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS ESTUDIADAS DE LA COMUNA DE HUASCO AÑO 2017.....	51
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE PROYECTOS REVISADOS .....	59
FIGURA 8. LOCALIZACIÓN LÍNEAS FÉRREAS .....	68
FIGURA 9. LOCALIZACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS .....	70
FIGURA 10. VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) MEDIDA A 10 M DE ALTURA EN ESTACIÓN EME-F, COMUNA DE HUASCO. PERÍODO DE MEDICIÓN: 25-08-2018 AL 22-08-2019.....	71
FIGURA 11. VELOCIDAD DEL VIENTO DIARIA PROMEDIO, ESTACIÓN EME F, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 25-08-2018 AL 22-08-2019.....	72
FIGURA 12. ROSA DE VIENTOS ESTACIÓN EME F MEDICIÓN REALIZADA A 10 M DE ALTURA, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 22-08-2018 AL 22-08-2019.....	73
FIGURA 13. VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) MEDIDA A 10 M DE ALTURA EN LA ESTACIÓN HUASCO SIVICA, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 06-04-2016 AL 22-08-2019.....	74
FIGURA 14. VELOCIDAD DEL VIENTO DIARIA PROMEDIO, ESTACIÓN HUASCO SIVICA, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 06-04-2016 AL 22-08-2019.....	75
FIGURA 15. ROSA DE VIENTOS ESTACIÓN HUASCO SIVICA MEDICIÓN REALIZADA A 10 M DE ALTURA, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 06-04-2016 AL 22-08-2019.....	76
FIGURA 16. VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) MEDIDA A 12 METROS DE ALTURA EN ESTACIÓN SM4, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 27-08-2018 AL 22-08-2019.....	77
FIGURA 17. VELOCIDAD DEL VIENTO DIARIA PROMEDIO, ESTACIÓN SM4, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 27-08-2018 AL 22-08-2019.....	78
FIGURA 18. ROSA DE VIENTOS ESTACIÓN SM4 MEDICIÓN REALIZADA A 12 M DE ALTURA, COMUNA DE HUASCO. PERIODO DE MEDICIÓN: 27-08-2018 AL 22-08-2019.....	79
FIGURA 19. ÁREA DE PROYECTO - ESTUDIO CNR/CICA (2002). .....	85
FIGURA 20. SERIE DE SUELOS DE LA COMUNA DE HUASCO.....	87
FIGURA 21. LOCALIZACIÓN DE CALICATAS ESTUDIO CNR/CICA (2002).....	98
FIGURA 22. LOCALIZACIÓN DE CALICATAS TESIS DE GRADO (1998) .....	102
FIGURA 23. LOCALIZACIÓN DE SITIOS MUESTREADOS EN ESTUDIO DICTUC (2012) .....	106
FIGURA 24. GRÁFICOS CON CONCENTRACIÓN DE METALES EN SUELOS MUESTREADOS - ESTUDIO DICTUC (2012) .....	108
FIGURA 25. LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO SUPERFICIAL DE ESTUDIO MMA/CENMA (2017) .....	113
FIGURA 26. LOCALIZACIÓN MUESTRAS DE SUELO BACKGROUND - ESTUDIO MMA/CENMA (2017) .....	117
FIGURA 27. MAPA CON LA LOCALIZACIÓN DE LOS TIPOS GEOLÓGICOS DE SUELO CONSIDERADO EN ESTUDIO MMA/CENMA (2017) .....	118
FIGURA 28. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN IDENTIFICADAS EN LA ZONA DE INTERÉS .....	126
FIGURA 29. PROCESO PRODUCTIVO PLANTA DE PELLET.....	127
FIGURA 30. PLANTA DE FLOTACIÓN.....	129
FIGURA 31. PROCESO DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA.....	132
FIGURA 32. LÍNEA FÉRREA POR DONDE CIRCULA EL FERROCARRIL DE CAP S.A.....	133

FIGURA 33.	VISTA AÉREA DEL TREN CAP .....	134
FIGURA 34.	IMÁGENES DE ALGUNAS ETAPAS DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA.....	135
FIGURA 35.	SECUENCIA DE LOS CAMBIOS EXPERIMENTADOS EN LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA.....	136
FIGURA 36.	IMAGEN AÉREA DE PUERTO LAS LOSAS Y CANCHA DE CARGUÍO.....	139
FIGURA 37.	MUESTREO PROPUESTO EN ÁREAS DE USO URBANO, AGRÍCOLA E INDUSTRIAL, SEGÚN USOS DE SUELO ...	145
FIGURA 38.	MUESTREO PROPUESTO EN ÁREAS DE USO URBANO E INDUSTRIAL, SEGÚN GEOLOGÍA.....	146
FIGURA 39.	LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS.....	148
FIGURA 40.	IMÁGENES DE LA PARTICIPACIÓN DE INTEGRANTES DEL CRAS EN EL MUESTREO.....	151
FIGURA 41.	MUESTRAS BACKGROUND EN TODA LA PROVINCIA DE HUASCO .....	178
FIGURA 42.	MUESTREO EN ÁREAS BACKGROUND COMUNA DE FREIRINA .....	178
FIGURA 43.	MUESTREO EN ÁREA BACKGROUND COMUNA DE VALLENAR .....	179
FIGURA 44.	MUESTREO EN ÁREA BACKGROUND COMUNA DE ALTO DEL CARMEN .....	179
FIGURA 45.	LOCALIZACIÓN DE TODOS LOS BACKGROUND QUE SE USARON PARA ANÁLISIS.....	190
FIGURA 46.	MAPA DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE HIERRO.....	210
FIGURA 47.	MAPA DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE ALUMINIO.....	211
FIGURA 48.	MAPA DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE VANADIO .....	211
FIGURA 49.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE ZN EN MUESTRAS DE SUELO URBANAS .....	220
FIGURA 50.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE CU EN MUESTRAS DE SUELO URBANAS .....	221
FIGURA 51.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE CR EN MUESTRAS DE SUELO URBANAS.....	221
FIGURA 52.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE NI EN MUESTRAS DE SUELO URBANAS .....	222
FIGURA 53.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PB EN MUESTRAS DE SUELO URBANAS.....	222
FIGURA 54.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE V EN MUESTRAS DE SUELO URBANAS.....	223
FIGURA 55.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE Pb EN MUESTRAS DE SUELO INDUSTRIAL.....	227
FIGURA 56.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE V EN MUESTRAS DE SUELO INDUSTRIAL.....	228
FIGURA 57.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AS EN MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA.....	231
FIGURA 58.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE BA EN MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA .....	232
FIGURA 59.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE CU EN MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA .....	232
FIGURA 60.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE Pb EN MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA.....	233
FIGURA 61.	GRÁFICO DE COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE ZN EN MUESTRAS DE SUELO AGRÍCOLA .....	233
FIGURA 62.	CÁLCULO DE VALORES DE REFERENCIA PARA ELEMENTOS CANCERÍGENOS Y NO CANCERÍGENOS.....	271
FIGURA 63.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE ZN.....	273
FIGURA 64.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE CR.....	273
FIGURA 65.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE CU.....	274
FIGURA 66.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE NI .....	274
FIGURA 67.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE V.....	275
FIGURA 68.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE Pb.....	275
FIGURA 69.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE Pb.....	276
FIGURA 70.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE V.....	276
FIGURA 71.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE AS.....	277
FIGURA 72.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE CU.....	277
FIGURA 73.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE ZN.....	278
FIGURA 74.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE BA .....	278
FIGURA 75.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CONCENTRACIONES DE Pb.....	279

## TABLAS

TABLA 1.	ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA.....	21
TABLA 2.	LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE MPS.....	23
TABLA 3.	ANTECEDENTES SOBRE EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO .....	27
TABLA 4.	VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y CLASES DE SALINIDAD PARA CADA UNO.....	32
TABLA 5.	INFORMACIÓN Y DATOS REVISADOS EN EL RETC, CORRESPONDIENTES A EMISIONES DE AIRE Y RESIDUOS AÑO 2017.....	42
TABLA 6.	FUENTES FIJAS IDENTIFICADAS EN LA COMUNA, AÑO 2017 .....	42

TABLA 7.	EMISIONES GENERADAS Y DECLARADAS EN EL RETC POR FUENTES PUNTUALES DE LA COMUNA DE HUASCO PARA EL AÑO 2017.....	44
TABLA 8.	EMISIONES GENERADAS POR FUENTES DIFUSAS EN LA COMUNA DE HUASCO PARA EL AÑO 2017.....	46
TABLA 9.	FUENTES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS DECLARADOS EN EL RETC PARA EL AÑO 2017 DE LA COMUNA DE HUASCO. ....	48
TABLA 10.	RESIDUOS NO PELIGROSOS GENERADOS Y DECLARADOS EN EL RETC POR ESTABLECIMIENTOS DE LA COMUNA DE HUASCO PARA EL AÑO 2017. ....	49
TABLA 11.	FUENTES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS DECLARADOS EN EL RETC PARA EL AÑO 2017 DE LA COMUNA DE HUASCO.....	50
TABLA 12.	RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS Y DECLARADOS EN EL RETC PARA EL AÑO 2017. ....	51
TABLA 13.	INFORMACIÓN GENERAL DE LOS PROYECTOS APROBADOS EN EL SEIA PARA LA COMUNA DE HUASCO.....	53
TABLA 14.	CANTIDAD DE PROYECTOS APROBADOS POR EL SEIA CLASIFICADOS POR DIAS Y EIAs.....	58
TABLA 15.	PROYECTOS REVISADOS A PARTIR DE BÚSQUEDA REALIZADA EN EL SEIA. ....	59
TABLA 16.	INFORMACIÓN RELEVANTE DE LOS PROYECTOS INGRESADOS AL SEIA Y REVISADOS EN EL CONTEXTO DEL PRESENTE ESTUDIO. ....	61
TABLA 17.	INFORMACIÓN SOBRE CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO EMPLEADAS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE LOS VIENTOS.....	70
TABLA 18.	RESUMEN DE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS REVISADOS.....	80
TABLA 19.	PROPIEDADES SERIE DE SUELO BELLAVISTA .....	89
TABLA 20.	PROPIEDADES SERIE DE SUELO FREIRINA .....	91
TABLA 21.	PROPIEDADES SERIE DE SUELO PAONA.....	93
TABLA 22.	PROPIEDADES SERIE DE SUELO TATARA.....	95
TABLA 23.	UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PREDIOS MUESTREADOS - ESTUDIO CNR/CICA (2002). 97	97
TABLA 24.	RESULTADOS ANÁLISIS CALICATAS - ESTUDIO CNR/CICA (2002).....	99
TABLA 25.	UBICACIÓN Y PARTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALICATAS ESTUDIADAS EN TESIS DE GRADO INCLUIDA EN ESTUDIO CNR/CICA (2002).....	100
TABLA 26.	ANTECEDENTES SOBRE EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO REPORTADOS EN ESTUDIO CNR/CICA (2002). 103	103
TABLA 27.	COORDENADAS UTM DE SITIOS MUESTREADOS EN ESTUDIO DICTUC (2012) .....	105
TABLA 28.	RESULTADOS DE TEXTURA, PH, CE Y MO EN SUELOS - ESTUDIO DICTUC (2012) .....	106
TABLA 29.	RESULTADOS DE CONTENIDO DE METALES EN SUELO - ESTUDIO DICTUC (2012).....	107
TABLA 30.	ANTECEDENTES SOBRE EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO REPORTADOS EN ESTUDIO DICTUC (2012) 109	109
TABLA 31.	RESUMEN MUESTREOS EFECTUADOS EN ESTUDIO MMA/CENMA (2017).....	110
TABLA 32.	ANTECEDENTES SOBRE EL MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO REPORTADOS EN ESTUDIO MMA/CENMA (2017) 110	110
TABLA 33.	LOCALIZACIÓN MUESTRAS SUELO SUPERFICIAL - ESTUDIO MMA/CENMA (2017).....	112
TABLA 34.	RESULTADOS SUELO SUPERFICIAL SISTEMATIZADOS - ESTUDIO MMA/CENMA (2017).....	114
TABLA 35.	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA SUELO SUPERFICIAL - ESTUDIO MMA/CENMA (2017).....	115
TABLA 36.	COORDENADAS MUESTRAS SUELO BACKGROUND - ESTUDIO MMA/CENMA (2017) .....	116
TABLA 37.	RESULTADOS SUELO BACKGROUND - ESTUDIO MMA/CENMA (2017).....	119
TABLA 38.	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA SUELO BACKGROUND - ESTUDIO MMA/CENMA (2017).....	121
TABLA 39.	RESUMEN DE ESTUDIOS CON DATOS DE CALIDAD DE SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	123
TABLA 40.	DEPÓSITOS DE RELAVE DE LA COMUNA.....	140
TABLA 41.	SPPC EN LA COMUNA .....	140
TABLA 42.	LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS PROPUESTAS – ÁREAS DE IMPACTO/USO .....	149
TABLA 43.	MUESTRAS DUPLICADO.....	150
TABLA 44.	REGISTRO DE MUESTRAS INDUSTRIALES .....	153
TABLA 45.	REGISTRO DE MUESTRAS URBANAS/RESIDENCIALES .....	160
TABLA 46.	REGISTRO DE MUESTRAS AGRÍCOLAS.....	169
TABLA 47.	CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES DE SUELO DE LA PROVINCIA DE HUASCO .....	176
TABLA 48.	LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS PROPUESTAS – ÁREA BACKGROUND.....	177
TABLA 49.	REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS BACKGROUND.....	180

TABLA 50.	ANÁLISIS QUÍMICOS EN SUELO (TODAS LAS MUESTRAS).....	191
TABLA 51.	RESULTADOS ANALÍTICOS MUESTRAS URBANAS/RESIDENCIALES .....	193
TABLA 52.	RESULTADOS ANALÍTICOS MUESTRAS INDUSTRIALES .....	194
TABLA 53.	RESULTADOS ANALÍTICOS MUESTRAS AGRÍCOLAS .....	195
TABLA 54.	RESULTADOS ANALÍTICOS MUESTRAS BACKGROUND .....	196
TABLA 55.	RESULTADOS ANÁLISIS MUESTRA DUPLICADO (SU-16 Y 21) .....	198
TABLA 56.	RESULTADOS ANÁLISIS MUESTRA DUPLICADO (SU-18 Y 22) .....	198
TABLA 57.	RESULTADO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DUPLICADO (SI-9 Y SI-16) .....	199
TABLA 58.	RESULTADO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DUPLICADO (FRN-5 Y FRN-8) .....	199
TABLA 59.	RESULTADO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DUPLICADO (FRN-6 Y FRN-9) .....	200
TABLA 60.	RESULTADOS ANÁLISIS MUESTRA DUPLICADO (BKG CHA 5 Y BKG CHA-20) .....	200
TABLA 61.	RESULTADOS ANÁLISIS MUESTRA DUPLICADO (BKG HSC 16 Y BKG HSC 19)).....	201
TABLA 62.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRAS URBANAS/RESIDENCIALES .....	202
TABLA 63.	CÁLCULO 95 % UCL MUESTRAS URBANAS/RESIDENCIALES .....	203
TABLA 64.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS MUESTRAS INDUSTRIALES.....	204
TABLA 65.	CÁLCULO 95 % UCL MUESTRAS INDUSTRIALES.....	205
TABLA 66.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRAS AGRÍCOLAS.....	206
TABLA 67.	CÁLCULO 95% UCL MUESTRAS AGRÍCOLAS .....	207
TABLA 68.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRAS BACKGROUND.....	208
TABLA 69.	CÁLCULO UCL 95 MUESTRAS BACKGROUND.....	209
TABLA 70.	COMPARACIÓN SUELO URBANO 95% UCL Y MUESTRAS CON VALORES DE REFERENCIA.....	219
TABLA 71.	COMPARACIÓN SUELO INDUSTRIAL 95% UCL Y MUESTRAS CON VALORES DE REFERENCIA .....	226
TABLA 72.	COMPARACIÓN SUELO AGRÍCOLA 95% UCL Y MUESTRAS CON VALORES DE REFERENCIA.....	230
TABLA 73.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y TEXTURA EN MUESTRAS DE SUELO DE USO AGRÍCOLA.....	235
TABLA 74.	RESULTADOS ANÁLISIS DE SALINIDAD, CATIONES Y ANIONES SOLUBLES EN MUESTRAS DE SUELO DE USO AGRÍCOLA .....	237
TABLA 75.	RESULTADOS CONTENIDO DE METALES MUESTRAS DE ÁREA DE USO AGRÍCOLA.....	239
TABLA 76.	RESULTADOS DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD Y CONTENIDO DE METALES EN MUESTRAS DE SUELO DE USO AGRÍCOLA. ....	241
TABLA 77.	CÁLCULOS DEL PORCENTAJE DE ELEMENTO QUÍMICO BIODISPONIBLE A PARTIR DEL CONTENIDO TOTAL EN LAS MUESTRAS DE SUELO DE USO AGRÍCOLA. ....	242
TABLA 78.	MUESTRAS DEL EIA EL MORRO CONSIDERADAS COMO BACKGROUND .....	244
TABLA 79.	MUESTRAS DEL ESTUDIO CENMA 2017 CONSIDERADAS COMO BACKGROUND .....	244
TABLA 80.	DETERMINACIÓN DE VALORES BACKGROUND PARA LA PROVINCIA DE HUASCO .....	246
TABLA 81.	PROPUESTA VALORES DE REFERENCIA PARA USO DE SUELOS URBANOS EN LA COMUNA DE HUASCO.....	249
TABLA 82.	VALORES DE REFERENCIA PARA USO DE SUELOS INDUSTRIALES EN LA COMUNA DE HUASCO .....	249
TABLA 83.	VALORES DE REFERENCIA PARA USO DE SUELOS AGRÍCOLAS EN LA COMUNA DE HUASCO .....	249
TABLA 84.	FACTORES DE EXPOSICIÓN Y TEMPORALES.....	251

## 1 GLOSARIO

A continuación, se presentan los términos utilizados en el estudio con su respectiva definición:

1. **Actividad Potencialmente Contaminante:** Aquellas actividades que producen, utilizan, manipulan, manejan, almacenan, tratan o disponen sustancias, que, por sus características físico- químicas, biológicas y toxicológicas, producen o pueden producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal. (Resolución N° 406/2013).
2. **Contaminante:** Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental. (Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Título I, art. 2 letra d). (Resolución N° 406/2013).
3. **Contaminación:** es la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente (SEA, 2012).
4. **Coordenadas:** cualquiera de los n números de una secuencia que designa la posición de un punto en un sistema n dimensional (Ministerio de Fomento, 2007).
5. **Emisión:** toda introducción de contaminantes o sustancias en el medio ambiente, regulados o no, producto de cualquier actividad humana, sea deliberada o accidental, habitual u ocasional, incluidos los derrames, escapes o fugas, descargas, inyecciones, eliminaciones o vertidos, o descargas al alcantarillado que no cuenten con tratamiento final de aguas residuales (MMA, 2013).
6. **Fuente emisora:** es el establecimiento que emite contaminantes al ambiente, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados, en el D.S. N° 90 /2000 de MINSEGPRES (MINSEGPRES, 2000).

7. **Fuente fija (puntual):** son aquellas fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable. Las emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes de las fuentes puntuales al medio ambiente, pueden estar o no sujetas a medición o cuantificación, a través de una norma de emisión, plan de monitoreo, plan de manejo u otra regulación que así lo determine. El parámetro deberá medirse, cuantificarse o estimarse dependiendo de lo establecido en la norma de emisión o regulación respectiva (MMA, 2013).
8. **Fuente difusa:** Fuentes de menores dimensiones o dispersas desde las que pueden liberar o generar emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes al suelo, a la atmosfera o al agua, y respecto de las cuales no resulta posible identificarlas u obtener información desglosada (MMA, 2013).
9. **Generador:** persona natural o jurídica cuya actividad da origen a residuos, o bien efectúe operaciones que ocasionen un cambio de naturaleza o composición de los mismos excluida la derivada del consumo doméstico, en cuyo caso el municipio es considerado el generador. Se comprenderá también este concepto al que importe residuos (MMA, 2013)
10. **Industria:** unidad productiva, asentada de manera permanente en un lugar, bajo el control de una sola entidad propietaria, que realiza actividades de transformación, procesamiento, elaboración, ensamble o maquila total o parcial, de uno o varios productos. (RETC, 2016).
11. **MP<sub>2,5</sub> (Material Particulado Fino Respirable):** corresponde a aquellas partículas de diámetro inferior o igual a las 2.5 micrómetros. Su tamaño hace que sean 100% respirables, por lo que penetran el aparato respiratorio y se depositan en los alvéolos pulmonares (RETC, 2016).
12. **MP<sub>10</sub> (Material Particulado Respirable):** partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, suspendidas en la atmósfera, cuyo diámetro es inferior a 10 µm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro) (RETC, 2016).
13. **Nivel Basal o Nivel Background:** concentración natural de un elemento químico en un suelo que no ha sido alterado por la actividad humana, localizado en las cercanías del suelo y/o sitio con presencia de contaminantes. (Resolución N° 406/2013).

14. **Residuo:** sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar (MINSAL, 2013).
15. **Residuos peligrosos:** residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo 11 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (MINSAL, 2013).
16. **Riesgo:** Probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso en las personas o el ecosistema. (Resolución N° 406/2013).
17. **Sistemas de Información Geográfico (SIG):** Sistema compuesto por una parte física (hardware), un programa de aplicación (software), datos (mapas, fotos imágenes, otros) y una parte activa (liveware), destinado al tratamiento de los datos referenciados espacialmente. Este sistema manipula los datos espaciales permitiendo recuperar, combinar y efectuar diversos tipos de análisis. En el marco de la gestión de SPPC, los SIG se emplean para ayudar al proceso de análisis de la información como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. (Resolución N° 406/2013).
18. **Suelos con Presencia de Contaminantes (SPC):** Lugar delimitado geográficamente que mediante una evaluación de riesgo ambiental se ha determinado que existe nivel de riesgo relevante para las personas o al medio ambiente. (Resolución N° 406/2013).
19. **Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC):** Lugar o terreno delimitado geográficamente en el que se desarrollan o han desarrollado actividades potencialmente contaminantes. Incluye a suelos abandonados y activos o en operación. (Resolución N° 406/2013).
20. **Sustancia Peligrosa (o producto peligroso):** Aquella que, por su naturaleza, produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal, a los bienes y/o medio ambiente y que se encuentran listadas en la Norma Chilena N. 382. Of2004. (Resolución N° 406/2013).
21. **Sustancia Tóxica:** Aquella que pueden causar la muerte, lesiones graves o puede producir efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra

- en contacto con la piel. (Resolución N° 406/2013).
22. **Valor de Background (VB):** Corresponde a la concentración natural de un sitio o región (PGS Chile 2016)
23. **Valor de Alerta (VA):** Valor de referencia basado en riesgo a la exposición a la sustancia o elemento en cuestión. Este valor se determina mediante fórmulas numéricas y puede ser utilizado para evaluar riesgo en zonas de interés (PGS Chile, 2016).
24. **Valor de Comparación (VC):** Concentración de contaminante permitida de un componente ambiental, basado en información toxicológica de productos químicos específicos derivada de estudios en humanos y animales, y bajo la suposición conservadora de que una persona entrará en contacto con el producto químico cada día durante todo el período de exposición (ATSDR, 2019).
25. **Valor de Referencia (VR):** Concentración máxima de contaminante permitida en suelo, que ha sido establecida en normativas o guías internacionales (solo son exigibles en país de origen) (Ideambiente, 2017)
26. **Vía de Exposición:** Mecanismo por medio del cual un contaminante entra al organismo (ingestión, inhalación, contacto dérmico). (Resolución N° 406/2013).

## 2 ACRÓNIMOS

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, Organismo Federal de Salud Pública del Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU.)

CAP: Compañía de Acero del Pacífico/CMP: Compañía Minera del Pacífico

CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura

CRAS: Consejo para la Recuperación Ambiental y Social

DIA: Declaración de Impacto Ambiental

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

MINSAL: Ministerio de Salud

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

PEAS: Plantas Elevadoras de Aguas Servidas

PRAS: Programa para la Recuperación Ambiental y Social

RCA: Resolución de Calificación Ambiental

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

SEREMI - Seremi: Secretaría Regional Ministerial

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería

SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca

SINCA: Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente

SNIFA: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental

### **3 ABREVIATURAS**

Al: Aluminio

As: Arsénico

Ba: Bario

B: Boro

COV: compuestos orgánicos volátiles.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

CO: Monóxido de Carbono

Co: Cobalto

Cr: Cromo

Cu: Cobre

Fe: Hierro

Hg: Mercurio

K: Potasio

Li: Litio

Mg: Magnesio

Mn: Manganeseo

MP: Material Particulado

Na: Sodio

NH<sub>3</sub>: amoniaco y/o nitrógeno amoniacal

Ni: Níquel

NOx: Óxidos de Nitrógeno.

P: Fósforo

Pb: Plomo

Sr: Estroncio

Th: Thotio

V: Vanadio

Zn: Cinc

## 4 RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al Informe Final del proyecto “Diagnóstico y muestreo de suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama”, desarrollado por IDEAMBIENTE para el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), y la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Atacama, de acuerdo a los requerimientos planteados en la licitación de Mercado Público ID: 608897-65-LE19 y en la Resolución 0507 del 22 de mayo del 2019, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba las bases administrativas, técnicas y documentos anexos.

El estudio tiene como objetivo principal contribuir a la generación de información y análisis en suelos, complementaria a la información existente para la gestión ambiental del territorio PRAS-Huasco.

En la primera parte de este informe se revisan y analizan todos los antecedentes e investigaciones existentes vinculados con la matriz suelo en la zona de estudio. Específicamente este análisis se orientó a los documentos, que contenían información relacionada con la matriz suelo y/o que directamente incluía análisis de resultados y/o diagnósticos sobre muestreos o usos de suelo en el área de estudio. Se identificó que las principales fuentes de contaminación asociadas a las actividades industriales en la comuna son la Planta de Pellet de la empresa CAP S.A, la Central termoléctrica Guacolda de la Empresa Aes Gener, la estación de Transferencia de Minerales de fierro, lugares de Acopio de minerales, y el ferrocarril que transporta el preconcentrado de fierro. Adicionalmente, se encontraron algunos pasivos y sitios con potencial presencia de contaminantes.

En base a esta información, más el análisis que se hizo a los estudios existentes de análisis de suelo de la zona, se elaboró un Plan de muestreo, el cuál fue revisado y finalmente aprobado por la contraparte técnica. Este Plan se efectuó en dos etapas, la primera se llevó a cabo entre el 11 y 12 de septiembre y la segunda, entre el 24 y 25 de septiembre de 2019. En la primera etapa se realizó la toma de muestras de la zona urbana e industrial, mientras que en la segunda etapa se tomaron las muestras de la zona agrícola y los background. Es importante mencionar, que el día 25 de septiembre integrantes del CRAS, acompañaron activamente la toma de muestras, que correspondió a la zona agrícola.

En total se tomaron 73 muestras de suelo (más 7 duplicados), distribuidas por uso de suelo, de la siguiente forma: 20 muestras urbanas/residenciales; 15 muestras industriales; 20 muestras agrícolas y 18 muestras background.

En función de los resultados obtenidos del muestreo del suelo, se desarrolló un análisis comparativo de los datos muestreados con valores de referencia que se ajustaran a la realidad local y el entorno de la comuna (normativa nacional e internacional) y valores background. Como producto se definieron valores background para todos los metales y para la provincia de Huasco, que sirvieron de referencia para este estudio y servirán como valores base de comparación para futuros estudios de suelo de la zona.

Considerando el 95% UCL de las concentraciones por cada metal, se concluye que para el caso del suelo urbano, se supera el Cu, Cr y V, esto al considerar el valor de comparación más bajo (por sobre el background). Si se considera el valor siguiente no se superaría ningún valor. Para el caso de las muestras de suelo industrial, al considerar los valores de comparación más bajos, solo se supera levemente el vanadio. Si se considera el segundo valor que también es restrictivo, no se superaría ningún elemento. Para el caso de las muestras de suelo de uso agrícola no hubo superación de ningún valor de referencia. Lo anterior, indicaría que la matriz suelo que es el foco de estudio de esta consultoría, no significaría en estos momentos, una fuente de riesgo para la población ni para los cultivos existentes en la comuna.

Adicionalmente, para 5 muestras de uso agrícola: BVT-2, BVT-3, FRN-5, FRN-6 y PNA-5 se evaluó su salinidad y fertilidad, concluyéndose que los suelos de Huasco son fértiles, pero muy salinos, y por lo tanto, se recomienda tener cuidado con el manejo de la concentración de cationes y aniones, porque a pesar que algunos de ellos son beneficiosos, el caso del sodio no lo es. A partir de estos resultados, también se concluye que los elementos químicos que tienen una mayor capacidad de poder ser biodisponibles y causar algún riesgo a la población o animales, serían el cobre, plomo y zinc, sin embargo, las concentraciones de estos metales son bajas y no sobrepasan ningún valor de comparación o de referencia internacional.

Finalmente, se entregan 2 propuestas de valores de referencia por tipo de uso de suelo y por cada elemento. La primera propuesta se basa en la situación más conservadora, donde se escoge el valor de referencia o comparación internacional más bajo, pero sobre el background. La segunda propuesta está basada en el cálculo de valores de alerta (VA), los cuales son basados en situaciones de riesgo a la exposición a la sustancia o elemento en cuestión, y se calcula mediante fórmulas numéricas. A esos valores, y según (PGS Chile,

2016), se le agrega la situación local, mediante ecuaciones donde se incluye el background escogido.

## 5 INTRODUCCIÓN

La comuna de Huasco se caracteriza por ser un territorio con un fuerte desarrollo económico, en el que coexisten actividades, principalmente, de los rubros agrícola (olivos), minero y energético, que sin duda han permitido oportunidades de fuentes laborales y consecuencias positivas para su población. Sin embargo, tal desarrollo ha implicado una serie de externalidades negativas, poniendo en riesgo el frágil ecosistema y la calidad de vida de sus habitantes, reflejando la complejidad de compatibilizar diversos intereses y vocaciones en un mismo territorio.

Considerando lo expuesto, desde el año 2014 el Ministerio del Medio Ambiente se encuentra implementando el Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) en la comuna de Huasco, que corresponde a una estrategia de intervención multisectorial, construida en forma participativa desde su diseño, desarrollada en territorios con altos niveles de vulnerabilidad social y ambiental y que presentan un alto grado de conflictividad.

El PRAS busca mejorar la calidad de vida de la población que habita comunas con conflictos ambientales históricos, mediante soluciones estructurales, que permitan transformarlas en el mediano y largo plazo en áreas pujantes y modernas que demuestren que es posible la convivencia sustentable entre las actividades industriales, el cuidado del medioambiente y calidad de vida. El PRAS incluye la creación de un Consejo para la Recuperación Ambiental y Social de la comuna, el cual ha sido el encargado de definir e implementar un plan de recuperación ambiental, con medidas a corto, mediano y largo plazo, que dan respuestas concretas a la problemática identificada en el territorio. Para Huasco, se definieron 67 medidas que buscan mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comuna y dar solución de manera gradual a los conflictos de la zona.

En relación a la componente suelo, el PRAS plantea en su diagnóstico territorial, que la carencia de normativa nacional de calidad de suelos, implica que los organismos con competencia ambiental se encuentran limitados para evaluar los efectos y/o impactos sanitarios y ambientales e identificar, cuando corresponda, responsabilidades por daño ambiental.

En relación a la calidad del suelo, si bien para la comuna de Huasco existen algunos estudios que incluyen información sobre calidad de suelos, estos datos se focalizan sobre lugares específicos y no son suficientes para establecer un diagnóstico general de este componente en la comuna. Adicionalmente, en general, éstos no incluyen antecedentes detallados sobre los muestreos, como su localización y resultados analíticos. En cuanto a la información de análisis físicoquímico de suelos y su distribución en el área, las muestras evaluadas son muy escasas, se localizan en un área acotada (el valle del río Huasco) y a la mayoría no es posible otorgarles validez, porque no se tiene claridad sobre los estudios de origen y de la metodología de los muestreos (localización de las muestras, fecha, método de análisis), entre otros aspectos.

A raíz de lo señalado, y en el marco del PRAS, el Ministerio del Medio Ambiente, durante el año 2016, desarrolló el estudio "Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación", que permitió avanzar en la realización de una evaluación integral de la presencia del polvo negro en las distintas matrices ambientales de la comuna de Huasco, definir la zona de influencia del polvo negro a través de modelación, además de determinar niveles background de metales pesados en suelo, aportando así con información importante para establecer la calidad de suelos sin intervención antrópica.

En función de los antecedentes señalados y de la percepción de la comunidad se identifica la necesidad de abordar la carencia de información sobre un diagnóstico de suelos en la comuna, la necesidad de determinar niveles basales (background) de calidad de suelos en la provincia del Huasco y de contar con un estándar de calidad de suelos para la zona para diferentes usos.

## **5.1 GENERALIDADES NORMATIVAS Y METODOLÓGICAS**

La contaminación de suelos causada principalmente por la actividad humana, representa para la mayoría de los países un desafío ambiental y económico que puede alcanzar importantes proporciones, concitando gran preocupación en naciones desarrolladas en los últimos 20 años, en donde para resguardar el desarrollo sustentable y la competitividad de los sectores productivos se han desarrollado una batería de herramientas y normativas para su prevención y control.

En Chile, la gestión de sitios y suelos contaminados está considerada dentro de las políticas públicas por los organismos sectoriales. Es así como esta materia ha sido

reconocida en la promulgación, en enero del año 2010, de la Ley N° 20.417, que modifica la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, y que introduce al ordenamiento jurídico, nuevas competencias legales al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) en materia de residuos, suelos contaminados y evaluación del riesgo. En específico, dicha Ley indica que al MMA le corresponde *"proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos y suelos contaminados, así como la evaluación del riesgo de productos químicos, organismos genéticamente modificados y otras sustancias que puedan afectar el medio ambiente"* (letra g), artículo 70).

Además Chile cuenta con una regulación o marco normativo aplicable de carácter precautorio, tales como la Ley N° 20.551 del 11 de noviembre del año 2011 del Ministerio de Minería, que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras; el Decreto Supremo N° 43 del 27 de julio del 2015 del Ministerio de Salud, que aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas y el Decreto Supremo N° 148 del 12 de junio del año 2003 del Ministerio de Salud, que aprueba el Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos; entre otros, los que al mismo tiempo refuerzan el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

El Ministerio del Medio Ambiente orienta su gestión en el ámbito de los SPPC en base a la "Guía Metodología para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC)", aprobada por el MMA el año 2013 a través de la Resolución Exenta N° 406. En dicho documento se definen los procedimientos requeridos para evaluar un suelo con presencia de contaminantes, con miras a su adecuada gestión, incluyendo etapas de identificación, investigación, evaluación y control, materias de la presente licitación.

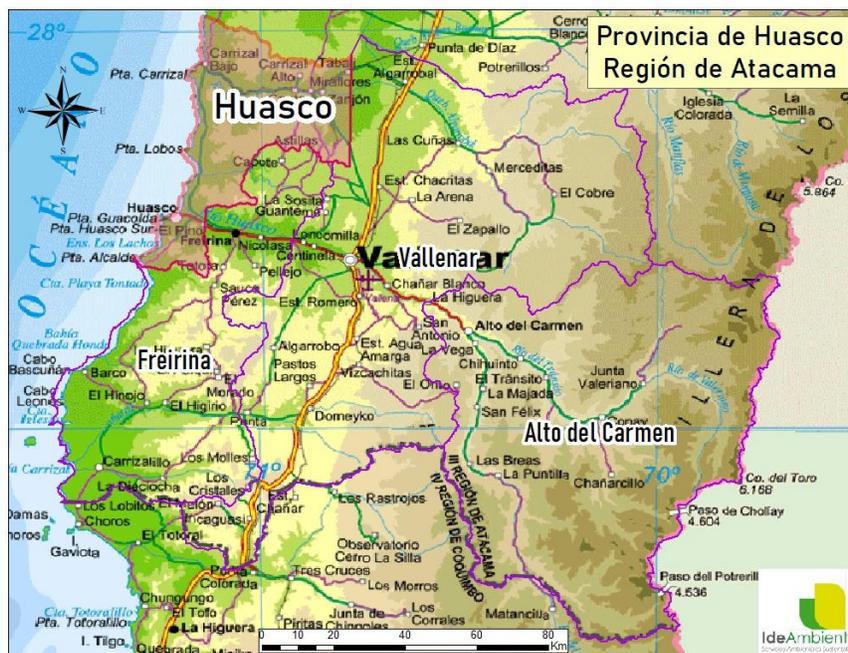
## **5.2 ANTECEDENTES GENERALES DEL TERRITORIO DE HUASCO**

La comuna se localiza en la costa de la III región de Atacama en una pequeña bahía abierta al norte, ocupando la vertiente sur de la cuenca del río Huasco, en las coordenadas geográficas 28°27'30" S y 71°13'00" W. Cuenta con una superficie de 1.635 km<sup>2</sup> (correspondiente al 8,6% provincial y al 2,1% regional) y con una población de 10.149 habitantes (CENSO 2017), de los cuales 4.906 son mujeres y 5.243 son hombres.

Está conformada por 18 poblados entre ellos: Huasco, Huasco Bajo, Canto de Agua, Carrizal Bajo, La Arena, El Pino, Los Pozos, La Cachina y otros. Limita al norte con Quebrada Matamoros (comuna de Copiapó), al sur con Punta Alcalde (comuna de Freirina), al este con la comuna de Freirina y al oeste con el Océano Pacífico. En la figura

siguiente se presenta la localización de la comuna de Huasco y la identificación de algunas áreas con usos de suelo industrial, urbano y agrícola.

Figura 1. Localización de la provincia y comuna de Huasco



Fuente: Elaboración propia en base a mapa IGM 2017.

Desde el punto de vista geomorfológico la comuna presenta tres unidades principales: Cordillera de la Costa, Valles Transversales y Planicies Litorales. Las condiciones climáticas y la presencia del río Huasco en la comuna, facilitan el desarrollo de productos frutícolas de calidad, hortalizas, olivos y viñedos.

En la comuna, también se desarrolla la ganadería, pesca, y minería. En la producción minera metálica la zona destaca por la existencia de yacimientos de hierro que poseen alto porcentaje de metal. La planta de pellets de Huasco, de la Compañía Minera del Pacífico – CMP (CAP S.A), transforma el mineral en un concentrado de hierro que alcanza mejor precio en el mercado. En el sector preandino hay yacimientos de minerales metálicos como oro y plata y no metálicos como la baritina, cuarzo, y mármol.

La ciudad de Huasco también es un importante puerto de embarque de minerales. Esta actividad se centra en la península Guacolda, donde se encuentran las instalaciones del Puerto Guacolda perteneciente a la Compañía Minera del Pacífico, con los muelles

Guacolda I y Guacolda II, construidos para descargar carbonatos de calcio, carbón y alimentos principalmente, y para embarcar pellets de hierro a granel respectivamente. Entre la ciudad y la península se ubica el Terminal Santa Bárbara, también de la Compañía Minera del Pacífico, utilizado para el embarque de minerales de hierro el cual en la actualidad se encuentra inactivo.

El año 2000, se construyó el Puerto Las Losas de propiedad de CAP y Agrosuper, el cual funciona como un terminal multipropósito dedicado a la descarga de graneles junto con especializarse en el manejo de carga general y cargas de proyectos de inversión. Producto de un accidente fatal que ocurrió en el Puerto Guacolda II de CAP Minería (en noviembre del año 2018) éste dejó de funcionar, por lo cual en enero del 2019 se iniciaron maniobras de embarque de pellets de hierro, en el sitio 1 de Puerto Las Losas, el cual permite atender naves de hasta 60.000 toneladas<sup>1</sup>.

En relación al rubro energético, existen dos centrales termoeléctricas las cuales están localizadas una al frente de otra. Una es de propiedad de Endesa, actualmente inactiva y Guacolda que es de propiedad de Aes Gener S.A., que opera desde el año 1995. Guacolda cuenta actualmente con cinco unidades de generación a carbón que totalizan una potencia bruta de 764 MW<sup>2</sup>.

Respecto a los impactos de las actividades productivas antes indicadas, en el documento PRAS Huasco, se indica que en la comuna existe una preocupación por la operación de la Central Termoeléctrica Guacolda y la planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico - CMP, y su impacto potencial en la calidad del suelo y cultivos agrícolas, y en otros componentes ambientales, como aire. Estas fuentes junto con la Termoeléctrica Huasco de Enel (actualmente inactiva), han afectado la calidad del aire de la comuna. El principal impacto de la generación termoeléctrica a carbón es la emisión de contaminantes atmosféricos, como: material particulado (PM<sub>10</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NOx), y metales pesados (mercurio, vanadio y níquel). Adicionalmente, emiten altos niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que incide fuertemente en el calentamiento global<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Radio Profeta (enero 2019), CAP Minería seguirá embarcando material por Puerto Las Losas de Huasco, recuperado de <http://www.radioprofeta.cl/cap-mineria-seguira-embarcando-material-por-puerto-las-losas-en-huasco/>

<sup>2</sup> DIA "Eliminación del uso de petcoke en central Guacolda y ajuste de la capacidad de generación eléctrica", recuperado de [http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientes/Evaluacion.php?modo=ficha&id\\_expediente=2131701498](http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientes/Evaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2131701498)

<sup>3</sup> Programa Chile Sustentable (2017). Termoeléctricas a carbón en Chile

En el año 2011, la localidad de Huasco y su zona circundante, fue declarada como zona latente por material particulado respirable  $MP_{10}$ , como concentración anual, de acuerdo al D.S. N° 40 del 15 de noviembre de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente. El año 2017 se establece el Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante de acuerdo al D. S. N° 38 del 30 de agosto de 2017. Lo anterior, considerando los resultados de las mediciones de las estaciones de monitoreo de MP existentes en la zona, las que han sido implementadas por la empresa eléctrica Guacolda y por CAP Minería.

A continuación, se presenta un resumen de las distintas estaciones de monitoreo de calidad de aire y parámetros meteorológicos de la comuna. Esta tabla fue elaborada en base a información levantada del sitio [www.sinca.cl](http://www.sinca.cl) y del Informe Técnico de Cumplimiento de Normas de Calidad del Aire por  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  y  $SO_2$ , 2008 de la SMA.

**Tabla 1. Estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorología**

Estación	Propietario	Coordenadas UTM	Estación con Representatividad Poblacional <sup>4</sup>	Parámetros Contaminantes	Parámetros meteorológicos
<b>Huasco Sívica</b>	MMA	282682E 6848727N	$MP_{2,5}$	$MP_{2,5}$	Radiación, humedad, temperatura, dirección y velocidad del viento
<b>Estación 21 de Mayo</b>	Guacolda	281938E 68489939N	$MP_{10}$	$MP_{10}$ y $MP_{2,5}$	
<b>EME-M (Escuela)</b>	Guacolda	282755E 6848689N	$MP_{10}$ y $NO_2$	$SO_2$ , $NO$ , $NO_2$ , $CO$ , $O_3$ , $CH_4$ , $MP_{10}$ y HCT	
<b>EME-F (Bomberos)</b>	Guacolda	282501E 68491239N	$MP_{10}$ y $NO_2$		Dirección y velocidad del viento
<b>EME-ME</b>	Guacolda	279008E 6948691N	$SO_2$		Radiación, humedad, presión atmosférica, precipitaciones, temperatura, dirección y velocidad del viento
<b>SM-1</b>	Guacolda	279550E 6845667N	$SO_2$		
<b>SM-2</b>	Guacolda	286614E 6849717N	$SO_2$		
<b>SM-3</b>	Guacolda	286948E 6848974N	$SO_2$		
<b>SM-4</b>	Guacolda	288025E	$SO_2$		

<sup>4</sup> Estación Monitora con Representatividad Poblacional para gases o partículas según lo que establece cada una de las Normas primarias de calidad del aire.

Estación	Propietario	Coordenadas UTM	Estación con Representatividad Poblacional <sup>4</sup>	Parámetros Contaminantes	Parámetros meteorológicos
		6847946N			
<b>SM-5</b>	Guacolda	290101E 6847633N	SO <sub>2</sub>		
<b>SM-6</b>	Guacolda	292058E 6845539N	SO <sub>2</sub>		
<b>SM-7</b>	Guacolda	295021E 6846218N	SO <sub>2</sub>		
<b>SM-8</b>	Guacolda	296473E 6845185N	SO <sub>2</sub>		
<b>Huasco II</b>	CAP	281803E 6849374N	MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> y MP <sub>10</sub>	Dirección y velocidad del viento

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se presentan las estaciones de monitoreo distribuidas en las comuna de Huasco.

Figura 2. Estaciones de monitoreo en Huasco



Fuente: Elaboración propia en base a información levantada en terreno

Respecto a la red de monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS) y hierro, la operación se encuentra a cargo de la Compañía Minera del Pacífico S.A. (CMP S.A. o equivalente CAP), según lo establecido en el artículo 5° y artículo 1° transitorio del DS N° 04, de 1992, que establece Norma de Calidad del Aire para Material Particulado Sedimentable en la Cuenca del Río Huasco, III Región. La red en cada lugar de muestreo cuenta con dos colectores, según lo estipulado en el Punto N°4 de la Res. N° 99, de 1992, de la Dirección Regional del SAG - Región de Atacama. El procedimiento empleado consiste en lo siguiente: en cada evento de recolección de muestra, en forma previa se efectúa un sorteo para determinar la muestra que será enviada a Laboratorio por la CMP S.A. y aquella que queda en poder del SAG, para ser utilizada eventualmente como contramuestra. Las muestras con sello SAG, son enviadas actualmente al Laboratorio SGS. La localización de las estaciones de monitoreo para MPS es la siguiente:

**Tabla 2. Localización de las estaciones de monitoreo de MPS**

Estación Nº	Propietario <sup>5</sup>	Ubicación	Coordenadas	
			Este	Norte
1	Homero Callejas	Huasco (Bellavista Alto)	0284433	6848982
2	Alberto Callejas	Huasco (Bellavista)	0285218	6848810
3	Suc. Luis H. Callejas	Huasco Bajo (La Cachina)	0286507	6850272
4	Camilo González	Huasco Bajo (Bellavista)	0286409	6849002
5	Moises Portilla	Huasco Bajo (La Arena)	0286990	6850202
6	Juan Cruz	Huasco Bajo (La Arena)	0288304	6849331

Fuente: ORD 3314/2015, Información sobre red de monitoreo que indica de Director Nacional SAG Sr. Angel Sartori Arellano a Sr Luis Rojas prosecretario de la Cámara de Diputados de Chile

## 6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Dada la importancia de la situación ambiental que impone el desarrollo industrial y energético en la comuna de Huasco, el trabajo que está desarrollando el MMA en implementar el Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) en esta comuna, y considerando que existen brechas de información asociado a la matriz suelo, se identifica la necesidad de mejorar la calidad de la información de suelos para la toma de decisiones para la gestión ambiental del territorio.

<sup>5</sup> Se refiere al propietario del terreno donde se localizan estas estaciones

Con el presente estudio, se pretende aportar y avanzar en el cumplimiento de las medidas asociadas a la componente Suelo, identificadas en el PRAS de Huasco, fichas D.1.1: “Elaborar un diagnóstico comunal de suelos con potencial presencia de contaminantes (SPPC) y D.1.2: “Definir un estándar de calidad de suelos para la zona geográfica en la que se emplaza la comuna de Huasco”.

## **7 OBJETIVOS**

### **7.1 OBJETIVO GENERAL**

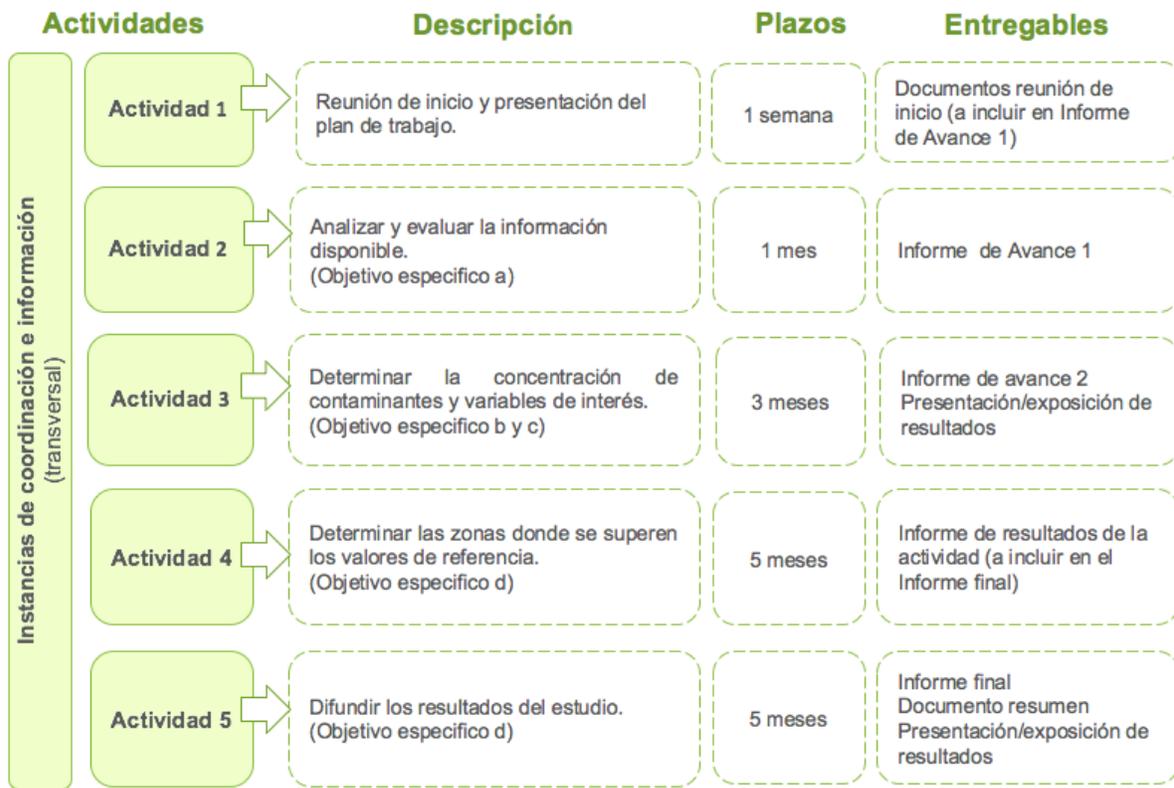
Contribuir a la generación de información y análisis en suelos, complementaria a la información existente, para la gestión ambiental del territorio PRAS- Huasco.

### **7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Analizar y evaluar la información disponible de suelos para el área de estudio.
- b) Determinar la concentración de contaminantes y variables de interés en los suelos de la comuna de Huasco.
- c) Determinar las concentraciones naturales (background) de metales, considerando estudios anteriores realizados en el territorio.
- d) Determinar las zonas donde se superen los valores base de los contaminantes de interés en la comuna de Huasco.
- e) Difundir los resultados del estudio.

## 8 PLAN DE TRABAJO - METODOLOGIA

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados se propone un plan de trabajo constituido por cinco (5) actividades principales, las que se indican en el diagrama a continuación:



### 8.1 METODOLOGÍA

### 8.2 ACTIVIDAD 2. ANALIZAR Y EVALUAR INFORMACIÓN DISPONIBLE

Esta actividad está orientada al cumplimiento del objetivo específico a) de la consultoría, y consideró las siguientes sub-actividades:

### 8.2.1 REVISAR Y ANALIZAR ANTECEDENTES E INVESTIGACIONES EXISTENTES

Se revisaron y analizaron todos los antecedentes e investigaciones existentes vinculados con la matriz suelo en la zona de estudio. Específicamente los que se sospechaba o se tenía información respecto a que analizaban la matriz suelo o incorporaron muestreos, análisis de resultados y/o diagnósticos sobre muestreos o usos de suelo en el área de estudio. Los antecedentes que se revisaron fueron los siguientes:

- Documento Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) de Huasco (<https://pras.mma.gob.cl/huasco/>)
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA): Estudios de Impacto Ambiental (EIA), Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) existentes en la zona de estudio
- Registros de fiscalizaciones y monitoreos de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)
- Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de Huasco 2019 – 2022 (<http://nuevo.imhuasco.cl/wp-content/uploads/2019/01/PLADECO-2019-2022-Final.pdf>)
- Publicaciones científicas y estudios técnicos por Organismos Públicos, Universidades y entidades privadas disponibles para la zona de estudio
- Información proporcionada por el RETC
- Antecedentes recopilados de los análisis y resultados de estudios aportados por la contraparte técnica:
  - MMA/CENMA (2016). Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación.
  - Ortiz, T. (2018). Caracterización de polvo negro en la comuna de Huasco, III REGIÓN - Seminario de título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Químico Ambiental
- SEREMI de Agricultura región de Atacama/ DICTUC (2012). Proyecto FIC: 33-01-773: Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica sobre el rubro olivícola, sector costero valle del Huasco
- Dirección General de Aguas/ CADEIDEPE (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad

- Comisión Nacional de Riego/CEDEC (1985). Estudio integral de riego del valle de Huasco.

En el caso del SEA, se buscaron los proyectos aprobados en la comuna de Huasco, enfocándose en EIAs en estado aprobado y proyectos más actuales, revisándose un total de 5 EIAs.

Se levantó información meteorológica en base a los antecedentes obtenidos a partir del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente, que pone a disposición en el sitio web [sinca.mma.gob.cl](http://sinca.mma.gob.cl) información de calidad del aire de todo el país, incluyendo estaciones que miden variables meteorológicas. En la comuna de Huasco, se encuentran disponible para descarga y consulta en línea información vinculada a 10 estaciones que miden estos parámetros.

### 8.2.2 EVALUAR LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE Y SISTEMATIZARLA

Se realizó una identificación y análisis de los criterios técnicos de los muestreos realizados en los suelos en la comuna, así como los de concentraciones base de la región.

Los aspectos vinculados con la calidad y validez de la información que se evaluaron, son los siguientes: procedimientos de muestreo, técnica analítica, límite de detección y cuantificación, análisis por parte de laboratorios certificados, entre otros, los cuales permiten definir si el dato analítico es válido o no. En los casos que la información no estaba disponible, o que estaba disponible en forma parcial, se dejó constancia y registro de dicha situación. Para sistematizar la información anterior, para cada uno de los estudios revisados que incorporan antecedentes de calidad de suelo se llenó la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla 3. Antecedentes sobre el muestreo y análisis de suelo**

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
Cantidad de muestras			
Inclusión de duplicados			
Localización muestras			
Profundidad muestreo			
Reporte original de laboratorio certificado			
Fecha de muestreo			
Fecha análisis			
Análisis efectuados			

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
Método de análisis			
LC y LD técnica de análisis			

Fuente: Elaboración propia en base a Información recabada en el marco de este estudio

### 8.2.3 IDENTIFICAR FOCOS DE PREOCUPACIÓN / INTERÉS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL SUELO

En base a las dos sub-actividades previas, se identificaron las potenciales fuentes de contaminación que podrían afectar la calidad del suelo de la comuna de Huasco. En el documento PRAS Huasco se indica que en la comuna existe una preocupación por la operación de la Central Termoeléctrica Guacolda y la planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico CMP (CAP), y su impacto potencial en la calidad del suelo y cultivos agrícolas, y en otros componentes ambientales, como aire.

Como una forma de caracterizar las potenciales fuentes cuyas emisiones podrían afectar la calidad del suelo, se recopiló y sistematizó la información relacionada con tipo de proceso o servicio prestado; sustancias peligrosas manipuladas y/o almacenadas; tipos de contaminantes emitidos; entre otros antecedentes.

Adicionalmente, se realizó un vuelo por dron en áreas de interés de la comuna de Huasco para obtener videos y una serie de fotografías aéreas, a partir de las cuales, mediante un post procesamiento, se generaron ortofotos que permiten una mejor caracterización de los suelos, visualizar el entorno, así como obtener información complementaria. Los vuelos se realizaron en la zona industrial y agrícola, el día 1 de agosto de 2019.

## 8.3 ACTIVIDAD 3. DETERMINAR CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES Y VARIABLES DE INTERÉS

Esta actividad está orientada al cumplimiento del objetivo específico b) y c) de la consultoría, y consideró las siguientes sub-actividades:

### 8.3.1 PROPONER Y DESARROLLAR UN PLAN DE MUESTREO DE SUELOS

En base a los antecedentes recopilados y analizados, se desarrolló un Plan de Muestreo de la matriz suelo, el cual fue aprobado por la contraparte técnica. Este Plan se elaboró

considerando usos de suelo, es decir, uso urbano/residencial, industrial, agrícola. Para el uso de suelo agrícola además se usaron las series de suelo de CIREN/Ministerio de Agricultura.

### **8.3.2 PROPONER Y DESARROLLAR UN PLAN DE MUESTREO DE VALORES BASE (BACKGROUND)**

Se desarrolló un Plan de Muestreo de valores base de calidad de suelos (background), considerando la provincia del Huasco. Este muestreo fue incluido en la propuesta de Plan de Muestreo indicada en la sub-actividad anterior, puesto que la idea fue ejecutar ambos tipos de muestreo en la misma campaña de terreno.

Este Plan también fue consensuado y aprobado por la contraparte técnica previo a su implementación.

### **8.3.3 ANALIZAR EN LABORATORIO LAS MUESTRAS EXTRAÍDAS**

Posterior a la toma de muestras, según lo establecido en las sub-actividades anteriores, se solicitó realizar el análisis de las muestras para la determinación de las respectivas concentraciones o valores de parámetros de interés.

Para el caso de las muestras de suelo, se consideró al laboratorio SGS Chile limitada, el cual considera la siguiente acreditación:

- Acreditación SGS Chile limitada - LE118 Área química para suelos, lodos y rises, disponible en: <http://acreditacion.innonline.cl/PDF.aspx?ID=1055&ac=0>

Adicionalmente, se incluyó la medición de granulometría para definir la textura de los suelos, aspecto también relevante en términos de fertilidad. Debido a que existen estudios previos que han abordado estos aspectos, a través del análisis de muestras de suelo tomadas a nivel superficial y subsuperficial en el área de estudio, se consideró efectuar los análisis mencionados en algunas de las muestras que se extraerán en el área de uso agrícola (5 muestras) y solo a nivel superficial, de modo de complementar los antecedentes anteriores y comparar los resultados ya existentes.

El laboratorio en el que serán efectuados estos análisis corresponde a AGROLAB, acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena

de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de suelo y foliar. El detalle de los análisis que a efectuar se detalla a continuación

- Granulometría para definir la textura del suelo
- Materia Orgánica
- N, P, y K disponible
- Salinidad (pH y CE en extracto de saturación, RAS, PSI (calculada), % saturación (retención de agua en la pasta))
- Cationes en el extracto de saturación (cationes solubles):  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,
- Aniones en el extracto de saturación (aniones solubles):  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$

#### 8.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó un registro y clasificación de las concentraciones/valores de cada analito/parámetro, para cada punto de muestreo, y se realizó un análisis estadístico de los resultados. Para esto se determinaron los valores de tendencia central (promedio y mediana), las medidas de dispersión (valores máximos, mínimos y desviación estándar), y la determinación del 95% del nivel superior de confianza.

##### 8.3.4.1 Análisis de fertilidad de los suelos

En cuanto a mediciones específicas relacionadas con la edafología y que se vinculan con la aptitud agrícola del suelo, se han seleccionado parámetros que permiten determinar la fertilidad (pH, CE, materia orgánica, N, P, K disponible) y salinidad (pH, CE, cationes y aniones, en base a lo cual se determina PSI y RAS), aspectos que han sido medidos en estudios previos y que habitualmente representan un problema en la zona norte del país.

La capacidad que posee el suelo de sostener explotaciones agrícolas sucesivas depende de la mantención de su funcionalidad, la que se ve reflejada en propiedades físicas, químicas y biológicas, que en su conjunto se manifiestan en el concepto general de fertilidad de suelo, el cual representa un equilibrado balance de estas propiedades. En un sentido más amplio, la funcionalidad del suelo considerando una visión ecosistémica, ha sido recogida en el concepto de calidad de suelo que describe la funcionalidad de los suelos en tres aspectos: (a) productividad biológica sostenible; (b) atenuación de contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental) y (c) el favorecimiento de la salud de plantas, animales y humanos. De esta forma, las funciones que cumple el suelo reflejan las

actividades que ecológicamente se requieren de él, tales como sustrato básico para las plantas; captar, retener y entregar agua; y ser un filtro ambiental efectivo (Fuentes, 2012).

La fertilidad de un suelo que refleja la capacidad de mantener una productividad biológica en forma sostenible es un atributo del suelo que puede ser incrementado o degradado. En general, se ha asociado la fertilidad de los suelos con el contenido de materia orgánica, pérdida de nutrientes minerales, por lo cual, un suelo fértil, es aquel que presenta concentraciones de nutrientes en niveles adecuados para el desarrollo normal productivo de las plantas, sin contar con limitaciones de acidez, limitaciones hídricas, o condiciones físicas del suelo que impidan a las plantas expresar y completar su desarrollo normal y su potencial productivo (Fuentes, 2012).

Teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema donde interactúan múltiples factores y que no es posible que un solo indicador provea una información completa, es necesario basarse en diferentes indicadores físicos, químicos, biológicos, para determinar su fertilidad. En el marco del presente proyecto se midieron los siguientes parámetros para evaluar la fertilidad:

**pH:** la evaluación de este parámetro es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, lo cual puede afectar la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos y la solubilidad de minerales del suelo. Por otra parte, factores importantes que afectan el pH edáfico son temperatura y precipitaciones, ya que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. Es así, como la acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados en donde hay una alta cantidad de precipitaciones; y la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas (Luters, 2000).

En relación a la interpretación de los valores de pH, aquellos entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, ya que las plantas cultivadas en general presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado. Por su parte cuando los suelos son ácidos, se presentan dificultades en el desarrollo de los cultivos y dificultad de retención de muchos nutrientes; y cuando son muy básicos o alcalinos presentan dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos, por posible aparición de clorosis férrica (Garrido, 1993).

**Conductividad Eléctrica:** La conductividad eléctrica (CE) de mezclas de suelo-agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo y todos ellos contienen alguna cantidad de ellas,

las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero un exceso puede inhibir el crecimiento de las plantas de ellas. Las mediciones de la CE de los suelos detectan la cantidad de cationes o aniones (sales) en este y, por lo tanto, mientras mayor es la cantidad de aniones o cationes, mayor será el valor de la CE. Los iones generalmente asociados con salinidad son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  como cationes ó  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  como aniones (Luters, 2000).

En relación a la interpretación de los datos de CE, en la siguiente tabla se presenta la clase de salinidad del suelo a partir del valor (en dS/m) y la respuesta general de los cultivos para cada una:

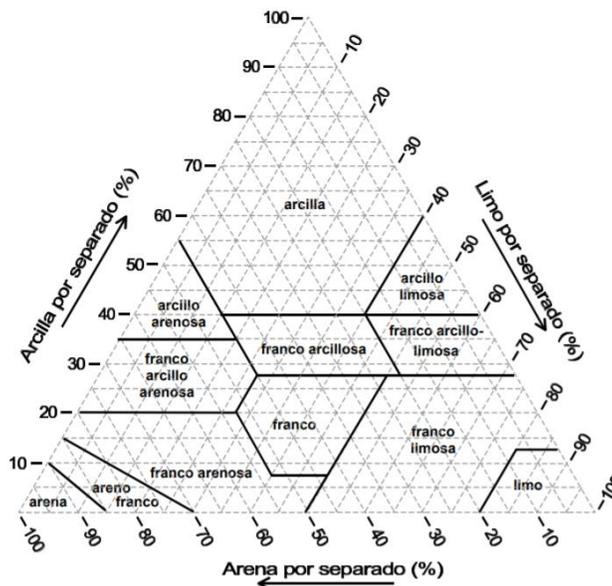
**Tabla 4. Valores de conductividad eléctrica y clases de salinidad para cada uno.**

Conductividad Eléctrica (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad	Respuesta de Cultivo
0 - 0,98	No salino	Efectos casi despreciables
0,98 – 1,71	Muy ligeramente salino	Se restringen los rindes de cultivos muy sensibles
1,71 – 3,16	Ligeramente salino	Se restringen los rindes de la mayoría de los cultivos
3,16 – 6,07	Moderadamente salino	Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 6,07	Fuertemente salino	Sólo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente

Fuente: (Luters, 2000).

**Textura:** La textura del suelo se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena (2.0 mm (muy gruesa) a 0.05 mm (muy fina), limo (0.05 mm a 0.002 mm) y arcilla (menores de 0.002 mm) y es uno de los atributos más estables del suelo, pudiendo sólo ser modificada ligeramente por cultivación y otras prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo. La clase textural ubica al suelo en un área dentro de un diagrama triangular basado en la distribución de arena, limo y arcilla en el suelo (Figura 64) (Luters, 2000). Es así como la textura del suelo y su estructura son de importancia preponderante para la fertilidad del suelo y, consecuentemente, para el crecimiento de las plantas. Los suelos gruesos (o arenosos) no retienen bien el agua y los nutrientes y estos se pueden perder por lixiviación; en cambio los suelos arcillosos, pueden acumular humedad y nutrientes, pero pueden tener drenaje y aireación inadecuados (FAO, 2000).

Figura 3. Triángulo textural del suelo mostrando los porcentajes de arcilla, limo y arena de las clases texturales (Luters, 2000).



Fuente: Lutens, 2000

**Materia Orgánica:** la materia orgánica (MO) en el suelo corresponde a la presencia de restos de plantas, animales muertos y fecas en diferentes grados de descomposición. Para el suelo es muy importante la presencia de MO, ya que ésta mejora las propiedades físicas del suelo y es rica en nutrientes que sirven de alimento a las plantas. En relación a la cantidad de MO en los suelos, es recomendable que los suelos agrícolas posean un alto contenido de materia orgánica, es decir, mayor a un 5%, para que se puedan obtener buenos resultados en la cosecha (INIA 1).

**Concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK) Disponible en el suelo:** El NPK corresponden a elementos químicos del grupo de los macronutrientes y de tipo primario, ya que se necesitan en grandes cantidades en los suelos, y que deben ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos (FAO, 2000).

El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta, y es absorbido del suelo bajo forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (FAO, 2000).

El Fósforo (P) juega un papel importante en la transferencia de energía, por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad (FAO, 2000).

El Potasio (K) tiene muchas funciones, activa más de 60 enzimas (sustancias químicas que regulan la vida), por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (FAO, 2000).

En relación a las concentraciones de NPK adecuadas de un suelo, estas dependerán del tipo de cultivo que se plante en este, por lo tanto, en el contexto del presente estudio, se tomará como referencia para la interpretación de los datos lo indicado por el laboratorio.

**Cationes y aniones solubles:** para que las plantas puedan adquirir a partir de sus raíces los nutrientes desde el suelo, estos deben estar en forma de iones (átomos o conjunto de átomos eléctricamente cargados, positiva o negativamente) inorgánicos y encontrarse disueltos en la solución suelo, la cual corresponde al agua que se encuentra en los microporos del suelo (INIA, 2002).

En condiciones normales, los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y el catión  $\text{Na}^+$  soluble se consideran nocivos para las plantas cuando adquieren ciertos valores en el suelo, por lo que siempre es necesario evaluarlo, sobre todo si las sales solubles totales son altas; por otra parte, los cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  solubles se consideran beneficiosos para las plantas y, por tanto, no es imprescindible determinarlo siempre, salvo que se quiera hacer una valoración más integral del suelo o para obtener relaciones ínter nutrientes en los casos que las sales solubles totales (Paneque et al. 2010). Es por esto que el contexto de este estudio se

evaluaron los cationes y aniones solubles ya indicados, más el boro, y la interpretación de los resultados se realizará concentraciones con la referencia indicada por el laboratorio.

#### **8.3.4.1.1 Análisis de biodisponibilidad - bioaccesibilidad**

El análisis de biodisponibilidad realizado, consiste en hacer una extracción inicial de metales en la muestra de suelo mediante solución de DTPA<sup>6</sup> (es posible hacerlo también con EDTA<sup>7</sup> y otros ácidos orgánicos). Este análisis representa la fracción de metales que una planta podría capturar desde el suelo, denominándose como biodisponibilidad o disponibilidad.

La biodisponibilidad tiene como objetivo determinar la concentración del o los elementos químicos que puede ser liberada de los distintos componentes del suelo o que puede quedar a disposición de las plantas y ser absorbidos por ellas, como también ser absorbidos por los seres humanos, a través del proceso de digestión (Segovia, 2014). Pero en el contexto de este proyecto, se ha realizado un análisis sencillo que permitirá observar si el o los elementos químicos (en este caso metales) están o no biodisponible en una muestra de suelo para ser captado por las plantas.

La metodología utilizada en esta oportunidad corresponde a la determinación de la biodisponibilidad por extracción con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), el cual fue realizado por AGROLAB.

Las metodologías existentes para determinar la biodisponibilidad de los metales en muestras de suelo son variadas y existen diferentes técnicas para hacerlo, las cuales buscan determinar la concentración de metal que puede ser liberada de los distintos componentes del suelo o que puede quedar a disposición de las plantas y ser absorbidos por ellas, como también ser absorbidos por los seres humanos, a través del proceso de digestión (Segovia, 2014).

Todos estos análisis si bien tienen un objetivo en común, las metodologías para llevarlos a cabo son diferentes, y por lo cual, se recomienda iniciar con aquellos que son sencillos y

---

<sup>6</sup> DTPA: Dietilentriaminopentaacetato de sodio

<sup>7</sup> EDTA: Acido etilendiaminotetraacético

menos costosos, que permiten determinar en una primera instancia si el metal está o no biodisponible en una muestra de suelo para ser captado por las plantas, y luego en caso de obtener resultados positivos, se recomienda seguir y realizar análisis a través de metodologías más complejas, que requieren de mayor tiempo para realizarlas y por supuesto de un mayor presupuesto económico (recomendación señalada por una Académica experta en suelos de la Universidad de Santiago de Chile).

Es así como a partir de la información revisada, se determinaron dos metodologías las cuales podrían ser aplicadas en el contexto del presente estudio, las cuales tienen por objetivo simular los metales trazas que las plantas podrían absorber o adquirir desde los suelos. Estas metodologías corresponden a:

- Determinación de la biodisponibilidad por extracción con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)
- Determinación de la biodisponibilidad por extracción con ácido DTPA (ácido dietilentriaminopentaacético)

Ambas metodologías son recomendadas, debido a las propiedades complejantes de las soluciones extractantes (formación de quelatos), las que permiten simular de mejor forma los procesos de absorción por las plantas, siendo más ventajosos que otros ácidos orgánicos. Sin embargo, ambos métodos presentan algunas diferencias, es así como la metodología EDTA funciona mejor para suelos con pH ácidos y la extracción con DTPA con suelos de pH neutros-alcalinos. Además, este último procedimiento se caracteriza por generar valores más reproducibles (Segovia, 2014).

A partir de los antecedentes anteriores, se decidió aplicar la metodología de la determinación de la biodisponibilidad por extracción con DTPA, debido a las siguientes razones:

- Es un procedimiento que entrega resultados más confiables (menor variabilidad en los resultados).
- Es una metodología recomendada por la encargada del laboratorio AGROLAB, donde se realizarán los análisis de biodisponibilidad de las muestras de suelo. Además, es la metodología validada en este laboratorio y que ellos realizan para determinar la biodisponibilidad de los metales en las muestras de suelo, debido a que suelo en Chile las muestras de suelo en su mayoría deberían presentar pH neutro-alcalino.

Es importante señalar que, en el proceso de búsqueda y recopilación de información, se revisaron 6 estudios con el fin de determinar la metodología más adecuada para aplicar en el contexto de este proyecto. Los estudios revisados corresponden a los siguientes:

1. Cordero, Y., Guridi, F. (2009). Uso del ácido etilendiaminotetracético para evaluar la biodisponibilidad de metales pesados en lechuga. *Avances en Investigación Agropecuaria (AIA)*. 13 (3): 35-46.-
2. Segovia, M. (2014). Bioaccesibilidad y Biodisponibilidad de Elementos Traza en Suelos Contaminados y Plantas. Tesis para optar al grado de Magister en Química. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
3. Ivezic, V., Loncaric, Z., Engler, M., Kerovec, D., Singh, B. R. Comparison of Different Extraction Methods Representing Available and Total Concentrations of Cd, Cu, Fe, Mn and Zn in Soil. *POLJOPRIVREDA* 19:2013 (1) 53-58.
4. Kukac, A., Blanusa, M. Comparison of Two Extraction Procedures for Determination of Trace Metals in Soil by Atomic Absorption Spectrometry. *Arh hig rada toksikol*, Vol 49 (1998) N° 4, pp. 327-334.
5. Honorato, R., Barrales, L., Silva, H., Saavedra, N. Relación entre el Cobre extraído con EDTA y DTPA en suelos desde la IV a la X región de Chile con y sin Antecedentes de Contaminación. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 1 (2) 2001 (70-76).
6. Sánchez, M. Comparación de dos métodos de extracción de metales en suelos por formación de quelatos con EDTA 0,05 M y con DTPA 0,005 M. XLI Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal.

La bioaccesibilidad en tanto corresponde a la fracción que es liberada a partir de una matriz (suelo, planta, sedimento), una vez que esta matriz ha sido ingerida por un organismo vivo. En el caso de los seres humanos, la liberación de la fracción bioaccesible ocurre en el espacio gastrointestinal, en el proceso de la digestión, quedando potencialmente disponible para absorción intestinal. La fracción bioaccesible puede también definirse como aquella fracción que, después de la ingesta, puede ser movilizada hacia los fluidos gástricos. En el caso de un contaminante, se considera que esta fracción representa la cantidad máxima de contaminante disponible para absorción intestinal. Para poder evaluar la bioaccesibilidad, se deben tratar las muestras con soluciones que simulen los fluidos del tracto gastrointestinal (fluidos gástricos e intestinales), empleando muestras de suelo o de plantas.

En base a lo anterior, y consultando a una experta en la materia (Dra. Carmen Pizarro, jefa del Laboratorio Suelo y Medioambiente de la Facultad de Química y Biología de la

Universidad de Santiago de Chile), así como a laboratorios comerciales respecto a la factibilidad de efectuar estos análisis, se definió efectuar en primera instancia el análisis de biodisponibilidad a través del método antes citado, el que es relativamente sencillo y es efectuado por un laboratorio comercial, y en función de los resultados que se obtuvieran, definir si sería necesario y factible, efectuar el de bioaccesibilidad.

### **8.3.5 DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CONTAMINANTES**

Se realizó la determinación de la distribución espacial de los contaminantes/parámetros medidos en el suelo y se transformó la información en formato shapefiles, para soporte ArcGis, con una representación gráfica para los contaminantes que se encontraron con mayores concentraciones.

### **8.3.6 PRESENTAR LOS RESULTADOS**

El día 12 de septiembre de 2019, se realizó una presentación de los resultados de los objetivos a), b) y parte del c). Incluyó la presentación del Plan de Muestreo, el cuál fue discutido entre los distintos miembros del CRAS.

En esa oportunidad, integrantes del CRAS solicitaron participar de la toma de muestras con la consultora, por lo cual se determinó que en la segunda etapa de muestreo, serían invitados a participar. El día 25 de septiembre participaron presencialmente de la toma de muestras agrícolas.

La fecha de la presentación de los resultados del Segundo Informe de Avance, se realizó el día 8 de noviembre 2019, y correspondió a una videoconferencia con la contraparte de la región de Atacama, realizada en dependencias del Ministerio del Medio Ambiente, nivel central.

## **8.4 ACTIVIDAD 4. DETERMINAR ZONAS DONDE SE SUPEREN LOS VALORES DE REFERENCIA**

Esta actividad está orientada al cumplimiento del objetivo específico d) de la consultoría, y consideró las siguientes sub-actividades:

### **8.4.1 COMPARAR RESULTADOS CON VALORES DE REFERENCIA**

En función de los resultados obtenidos del muestreo del suelo, se desarrolló un análisis comparativo de los datos muestreados con valores de referencia que se ajustaran a la realidad local y el entorno de la comuna (normativa nacional, internacional) y valores background, determinándose muy pocos puntos donde se superaban los valores base/referencia para los contaminantes de interés.

Para seleccionar los valores de referencia, ajustados a la situación en estudio y a la realidad local, se efectuaron las siguientes actividades:

- Revisión de valores guías y normas de referencia nacionales e internacionales para las concentraciones/valores de cada contaminante/parámetro en el suelo, considerando el escenario de exposición que se evalúa (industrial, residencial, agrícola). Entre los valores guía que se consideraron se encuentran los valores de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés), los cuales son propuestos por la ATSDR.
- Consideración de las características geológicas y climatológicas del área de estudio, especialmente en el caso de la selección de valores de referencia internacionales.
- Análisis de los niveles base o background presentes en suelos no intervenidos de la provincia de Huasco, que serán determinados en este mismo estudio.

Adicionalmente, se evaluó la aptitud agrícola de suelos de este tipo, las que no necesariamente pueden determinarse a través de la comparación con valores de referencia. Esto se hizo para 5 muestras de uso agrícola.

## **8.5 ACTIVIDAD 5. DIFUNDIR LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO**

### **8.5.1 CONSOLIDAR LOS ANTECEDENTES GENERADOS**

Todos los antecedentes generados en el marco de esta consultoría, así como el material cartográfico desarrollado, son parte del contenido de este Informe Final.

### **8.5.2 EDITAR UN DOCUMENTO RESUMEN**

Se elaboró un documento resumen con la información sistematizada del estudio para su difusión.

### **8.5.3 EFECTUAR UNA PRESENTACIÓN FINAL**

El día 11 de diciembre, se realizó la presentación a la contraparte técnica del estudio, y el día 12 de diciembre, se efectuó una presentación de los resultados finales del estudio y su respectivo análisis, en la comuna de Huasco. Específicamente, en esta presentación se invitó a miembros del Consejo para la Recuperación Ambiental y Social (CRAS) de Huasco.

## 9 RESULTADOS

### 9.1 ACTIVIDAD 1. REUNIÓN DE INICIO Y PRESENTACIÓN DEL PLAN DE TRABAJO

La reunión de inicio se realizó el día 31 de julio de 2019, en dependencias de la Seremi del Medio Ambiente de la región de Atacama (Portales 830, Copiapó).

Se revisó el Plan de Trabajo, incluyendo la metodología y el cronograma, y hubo algunas modificaciones respecto a los plazos establecidos para algunas actividades e informes, tal como se indica a continuación:

Informe/actividad	Fecha
Informe Avance Nº 1	26 de agosto
Plan de muestreo de suelos	02 de septiembre
Plan de muestreo background	02 de septiembre
Ejecución del muestreo	Semana del 9 de septiembre
Presentación al CRAS de Huasco del inicio del Estudio	12 de septiembre
Informe Avance Nº 2	25 de octubre
Presentación resultados Informe Avance Nº 2	Entre el 04 y 08 de noviembre
Informe Final	29 de noviembre
Presentación resultados Informe Final a la contraparte técnica	Entre el 09 y 13 de diciembre
Documento resumen impreso del estudio para revisión	29 de noviembre
Presentación Resultados del estudio en la comuna de Huasco	12 de diciembre

La minuta de la reunión, la lista de participantes y la presentación de power point revisada durante dicha instancia se presenta en ANEXO 1, ambos en formato digital.

### 9.2 ACTIVIDAD 2. ANALIZAR Y AVALUAR INFORMACIÓN DISPONIBLE

#### 9.2.1 REVISAR Y ANALIZAR ANTECEDENTES E INVESTIGACIONES EXISTENTES

A continuación, se presenta un resumen de la documentación revisada y analizada.

### 9.2.1.1 Revisión de Información del RETC

La búsqueda de información se enfocó en revisar los datos más actuales declarados en esta plataforma, asociados a la comuna de Huasco y relacionados a las emisiones al aire y de residuos, ya que a partir de los antecedentes existentes sobre las potenciales fuentes de contaminación, como lo es el diagnóstico del documento Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) de la comuna Huasco y los estudios que se señalan más adelante, indicarían que este tipo de emisiones podrían ser las causantes de la presencia de contaminantes en los suelos de la comuna y es uno de los principales problemas que afectaría al territorio.

En la tabla siguiente (Tabla 5), se presentan los registros sobre emisiones al aire y generación de residuos disponibles en el RETC, que fueron revisados en el contexto de este estudio.

**Tabla 5. Información y datos revisados en el RETC, correspondientes a Emisiones de Aire y Residuos año 2017.**

Datos Emisiones al Aire	Datos Residuos
Emisiones generadas por Fuentes Puntuales	Generación de Residuos No Peligrosos (SINADER)
Emisiones generadas por Fuentes Difusas	Generación de Residuos Peligrosos (SIDREP)
Emisiones de Transporte en Ruta	

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019

#### 9.2.1.1.1 Emisiones Atmosféricas:

##### 9.2.1.1.1.1 EMISIONES GENERADAS POR FUENTES PUNTUALES AÑO 2017:

Se identificaron 7 fuentes fijas de generación de emisiones atmosféricas en la comuna, las cuales se presentan en la Tabla 6, y sus ubicaciones geográficas se pueden observar en la Figura 4.

**Tabla 6. Fuentes Fijas identificadas en la comuna, año 2017**

Empresas	Establecimiento generador	Coordenadas Geográficas	
		Norte	Este
Aguas Chañar S.A	Emisario Huasco	6849196	281503
	PEAS* Concheria	6849651	281926
	PEAS* El Faro	6849524	282849
Compañía Minera del Pacífico S.A	Mina Los Colorados	6868721	321218

	Planta de Pellets	6848483	279810
Enel Generación Chile S.A	Huasco	6848674	279555
Guacolda Energía S.A.	Guacolda	6848815	279279

\*Siglas correspondientes a Plantas Elevadoras de Aguas Servidas.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019.

Figura 4. Localización de las fuentes puntuales estudiadas de la comuna de Huasco 2017



Fuente: Elaboración propia, en base a datos obtenidos desde el RETC. Imagen: Google Earth Pro.

La cantidad de emisiones y tipos de contaminantes que cada una de estas fuentes genera, se señalan en la Tabla 7.

**Tabla 7. Emisiones generadas y declaradas en el RETC por Fuentes Puntuales de la comuna de Huasco para el año 2017.**

		EMPRESA RAZÓN SOCIAL								
		AGUAS CHAÑAR			COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO S.A		ENEL GENERACIÓN CHILE S.A	GUACOLDA ENERGÍA S.A.		
		ESTABLECIMIENTOS GENERADORES								
		EMISARIO HUASCO	PEAS CONCHERÍA	PEAS EL FARO	MINA LOS COLORADOS	PLANTA DE PELLETS	HUASCO	GUACOLDA	TOTAL GENERADO	
Emisiones Atmosféricas [Toneladas]	Benceno	2,57E-6	7,35E-6	4,51E-6	0,0019	0,0109	0,0040	---	0,0169	
	COV	0,0005	0,0014	0,0008	0,7455	0,2898	1,5333	6,0898	8,400	
	SO <sub>2</sub>	0,0003	0,0009	0,0006	0,4982	65,18	2,835	2577,7	2646,3	
	CO <sub>2</sub>	0,2377	1,62E-6	9,91E-7	365,7	173.836	69.445	3.497.269	3.740.917,3	
	CO	0,0013	0,0038	0,0023	2,0278	222,87	4,1707	390,43	619,50	
	MP10	0,0002	0,0006	0,0004	0,3305	0,2639	0,6799	267,40	268,68	
	NH <sub>3</sub>	1E-5	3,05E-5	1,87E-5	0,0164	63,88	0,0338	1342,92	1406,9	
	T/mb/T/F*	5,66E-7	1,62E-6	9,97E-7	8,71E-4	0,004	0,0018	---	0,0067	
	MP2,5	5,18E-5	0,0001	9,06E-5	0,0797	0,4733	0,1639	307,17	307,89	
	NO <sub>x</sub>	0,0061	0,0174	0,0107	9,3887	8,3575	622,46	2910,7	3550,9	
	Hg	3,8E-9	0	0	5,92E-6	0,0209	1,22E-5	0,2878	0,3087	
	MP	0,0004	0,0012	0,0008	0,6599	0,7132	1,668	172,55	175,59	
	As	---	---	---	---	0,0008	---	---	0,0008	
	Pb	---	---	---	---	4,37E-5	---	---	4,37E-5	
PCDD/F	---	---	---	---	1,87E-8	0	4,56E-7	4,74E-7		

\*Siglas que significan: Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados del RETC

A partir de la información anterior, se puede observar que el contaminante que fue emitido en mayor cantidad en año 2017 en la comuna de Huasco, corresponde al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con más de 3 millones de toneladas, seguido de los óxidos de nitrógeno u óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) con aproximadamente 3.500 toneladas y luego el dióxido de azufre con 2.600. Esta información se correlaciona con los antecedentes que indican que efectivamente es el CO<sub>2</sub> el mayor contaminante que es emitido por las termoeléctricas, tal

como en este caso y que además va acompañado con la presencia de otros gases como el NOx, SO<sub>2</sub>, MP<sub>10</sub> (Chile Sustentable, 2019).

Por otra parte, se observa que los establecimientos que generaron mayores emisiones corresponden en un primer lugar a Guacolda (Central Termoeléctrica), seguido por la Planta de Pellets y Huasco (Central Termoeléctrica), aunque esta última actualmente ya no se encuentra en funcionamiento. Por su parte, las fuentes que menos emisiones generan son las pertenecientes a la empresa Aguas Chañar S.A. correspondientes a Emisario Huasco, PEAS Conchería y PEAS El Faro.

A partir de los datos señalados en la tabla anterior, también se puede observar, que estas fuentes puntuales generan además otros contaminantes menos comunes en concentraciones no significativas, pero igualmente importantes, porque son considerados como contaminantes peligrosos para la salud como lo son el Benceno, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), mercurio (Hg), amoníaco y arsénico.

El reporte completo con las emisiones de fuentes puntuales del año 2017 obtenido desde el RETC, se encuentra en el ANEXO 2.

#### **9.2.1.1.1.2 EMISIONES GENERADAS POR FUENTES DIFUSAS AÑO 2017:**

Se identificaron 5 fuentes difusas de generación de emisiones atmosféricas en la comuna de Huasco para el año 2017. Estas fuentes corresponden principalmente a actividades relacionadas a la combustión o quema de materiales, tal como se indica a continuación:

- Combustión de Leña Residencial Rural
- Combustión de Leña Residencial Urbana
- Incendios Urbanos
- Quemadas Agrícolas
- Incendios Forestales

A continuación, se indican las cantidades de emisiones generadas por cada una de las fuentes, como también los tipos de contaminantes emitidos (Tabla 8).

**Tabla 8. Emisiones generadas por Fuentes Difusas en la comuna de Huasco para el año 2017.**

Tipo de Fuente	Contaminante	Cantidad de emisiones [Ton]	Total Emisión por fuente [Ton]
Combustión de Leña Residencial Rural	Nitrógeno amoniacal (o NH <sub>3</sub> )	0,026071509	50,90
	Compuestos Orgánicos Volátiles	2,871568743	
	Monóxido de carbono	5,854872292	
	MP10	0,342905292	
	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0,002245088	
	MP2,5	0,319244827	
	NOx	0,074968908	
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	41,41103681	
Combustión de Leña Residencial Urbana	NOx	0,23287201	158,11
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	128,6329441	
	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0,006973798	
	MP10	1,065148828	
	MP2,5	0,991653559	
	Monóxido de carbono	18,18668448	
	Compuestos Orgánicos Volátiles	8,919804238	
	Nitrógeno amoniacal (o NH <sub>3</sub> )	0,080984569	
Incendios Urbanos	Monóxido de carbono	0,4885	0,572
	Compuestos Orgánicos Volátiles	0,0405	
	Material particulado	0,0315	
	NOx	0,0115	
Quemas Agrícolas	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0,101630706	82,77
	MP10	1,539399052	
	MP2,5	1,46393269	
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	74,95019256	
	NOx	0,569162386	
	Monóxido de carbono	3,199777787	
	Compuestos Orgánicos Volátiles	0,962472656	
Incendios Forestales	NOx	0	0
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0	
	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0	
	MP10	0	
	MP2,5	0	
	Monóxido de carbono	0	
	Compuestos Orgánicos Volátiles	0	

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019.-

A partir de los datos, se puede observar que las fuentes difusas que generan las mayores emisiones corresponden a la Combustión de Leña Residencial Urbana y las Quemas

Agrícolas. Además, se observa que es el CO<sub>2</sub> el mayor contaminante emitido seguido del monóxido de carbono (CO), lo cual es lógico debido a que son las principales emisiones generadas en los procesos de combustión de materia orgánica.

Otros contaminantes que se pueden observar que son emitidos, corresponden al MP<sub>10</sub>, MP<sub>2,5</sub> y los compuestos orgánicos volátiles. El reporte completo con las emisiones de fuentes difusas del año 2017 obtenido desde el RETC, se encuentra en el ANEXO 3.

#### **9.2.1.1.1.3 EMISIONES DE TRANSPORTE EN RUTA AÑO 2017:**

Este tipo de reporte no indicó información sobre emisiones generadas de forma específica en la comuna de Huasco, solo entrega información para las grandes ciudades del país (capitales regionales) por lo cual, no fue analizado en mayor profundidad. De todas maneras, el reporte completo obtenido desde el RETC se encuentra en el ANEXO 4.

#### **9.2.1.1.1.4 CONCLUSIÓN EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

A partir de los datos analizados, se puede indicar que las actividades industriales generan la mayor cantidad de emisiones atmosféricas, y que en el caso de la comuna de Huasco corresponden a las actividades relacionadas a la energía por el funcionamiento de termoeléctricas y a la minería por la presencia de la planta de pellets de hierro.

Lo indicado anteriormente, coincide y ratifica lo mencionado en los diferentes antecedentes que existen sobre la comuna, en los cuales se señala que las emisiones atmosféricas y contaminantes son generados principalmente por este tipo de actividades industriales y en específico por las empresas Guacolda Energía S.A. (con 5 unidades de generación de energía), y por el funcionamiento de la Planta de Pallets de la empresa Compañía Minera del Pacífico S.A.

#### **9.2.1.1.2 Residuos:**

##### **9.2.1.1.2.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS (SINADER) AÑO 2017:**

A partir de este reporte, se identificaron 5 establecimientos de generación de residuos no peligrosos los cuales fueron declarados en el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER) en el año 2017 para la comuna de Huasco, tal como se indica en la Tabla 9, y sus ubicaciones geográficas se pueden observar en la Figura 5.

Tabla 9. Fuentes de generación de residuos No Peligrosos declarados en el RETC para el año 2017 de la comuna de Huasco.

Empresas	Establecimiento generador	Coordenadas Geográficas	
		Norte	Este
Aguas Chañar S.A	Emisario Huasco	6849196	281503
Compañía Minera del Pacífico S.A	Mina Los Colorados	6868721	321218
	Planta de Pellets	6848483	279810
Guacolda Energía S.A.	Guacolda	6848815	279279
Ilustre Municipalidad de Huasco	Ilustre Municipalidad de Huasco	6849124	282719

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019

Figura 5. Ubicación de las fuentes generadoras de residuos No Peligrosos estudiadas de la comuna de Huasco año 2017



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos desde el RETC. Imagen: Google Earth Pro.

La cantidad específica generada por cada una de estas fuentes y la cantidad se indican a continuación en Tabla 10.

**Tabla 10. Residuos No Peligrosos generados y declarados en el RETC por establecimientos de la comuna de Huasco para el año 2017.**

Empresa (Razón Social)	Fuentes Generadoras	Residuo generado (Nombres LER)	Tratamiento	Valorización/ Eliminación	Cantidad generada [Ton]
Aguas Chañar S.A.	Emisario Huasco	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones)	Eliminación	Eliminación	11,784
Compañía Minera del Pacífico S.A.	Mina Los Colorados	Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales / Residuos de la extracción de minerales metálicos	Depósito de Seguridad	Eliminación	75,52
	Mina Los Colorados	Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales / Residuos de la extracción de minerales metálicos	Preparación para reutilización	Valorización	84,88
	Planta de Pellets	Residuos de procesos térmicos / Residuos de la industria del hierro y del acero / Residuos no especificados en otra categoría	Residuos voluminosos	Valorización	1683
Guacolda Energía S.A.	Guacolda	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones)	Relleno sanitario	Eliminación	270,02
		Residuos de procesos térmicos / Residuos cálcicos de reacción, en forma sólida, procedentes de la desulfuración de gases de combustión	Vertedero	Eliminación	37.309,13
		Residuos de procesos térmicos / Cenizas volantes de carbón	Vertedero	Eliminación	274.481,94
		Residuos de procesos térmicos / Cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera (excepto el polvo de caldera especificado en el código 10 01 04)	Vertedero	Eliminación	303.373,02
		Residuos de la construcción y demolición / Hierro y acero	Reciclaje de metales	Valorización	647,73
Ilustre Municipalidad de Huasco	Ilustre Municipalidad de Huasco	Mezclas de residuos municipales	Relleno sanitario	Eliminación	3019,87

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019

A partir de los resultados, se puede observar que la fuente o establecimiento que genera mayor cantidad de residuos en la comuna de Huasco, corresponde a Guacolda, y el tipo de residuos que más se genera corresponde a las cenizas volantes. El segundo tipo de residuo que más se genera por este establecimiento son las cenizas y polvos generados en las calderas y en tercer lugar, los residuos cálcicos provenientes del proceso de desulfuración correspondientes a yeso ( $\text{CaSO}_4$ ). Además, se puede observar que el destino final de estos tres residuos es la disposición a un vertedero o Depósitos de Cenizas de la empresa Guacolda.

Por otra parte, hay otros tipos de residuos como los generados por la Compañía Minera del Pacífico, cuya cantidad es menor que en el caso de Guacolda, pero de todas maneras considerable, sin embargo, su destino principal es la valorización, por lo cual, son residuos que finalmente no quedarán dispuestos en sus instalaciones y por lo cual, no son una potencial fuente de contaminación para la matriz suelo.

El resto de los residuos que se observan tiene como destino también la eliminación, pero la cantidad generada es mucho menor que los residuos de Guacolda, y el tipo es diferente, pero a partir de la descripción indicada en este reporte, no se puede determinar exactamente a qué corresponde.

El reporte completo con los Residuos No Peligrosos generados en el año 2017 obtenido desde el RETC, se encuentra en el ANEXO 5.

#### 9.2.1.1.3 Generación de Residuos Peligrosos (SIDREP) año 2017:

Este tipo de reporte, indica que en la comuna de Huasco hay 4 establecimientos que generan residuos peligrosos, los cuales se señalan en la Tabla 11, y sus ubicaciones geográficas se pueden observar en la figura 6.

**Tabla 11. Fuentes de generación de residuos Peligrosos declarados en el RETC para el año 2017 de la comuna de Huasco.**

Empresas	Establecimiento generador	Coordenadas Geográficas	
		Norte	Este
Compañía Minera del Pacífico S.A	Mina Los Colorados	6868721	321218
	Planta de Pellets	6848483	279810
Guacolda Energía S.A.	Guacolda	6848815	279279
Servicio Salud Atacama Hospital de Huasco	Hospital de Huasco Manuel Magalhaes Medling	6849462	282991

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019

Figura 6. Ubicación de las fuentes generadoras de residuos Peligrosos estudiadas de la comuna de Huasco año 2017.



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos desde el RETC. Imagen: Google Earth Pro.

De éstos, solo se analizaron los residuos de los 3 primeros establecimientos, ya que sus procesos productivos se relacionan con el objetivo del presente estudio. Sin embargo, el tipo de datos que entrega es informativa, ya que estos residuos por Ley deben ser manejados de forma especial y enviados a sitios adecuados para su disposición final, tal como lo señala el D.S. N°148/2004 “Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos”. De todas maneras, los tipos y cantidades de residuos generados por los establecimientos se indican a continuación.

Tabla 12. Residuos Peligrosos generados y declarados en el RETC para el año 2017.

Establecimiento Generador	Tipo de Residuo/Contaminantes	Tipo de peligrosidad	Cantidad generada [Ton]
Guacolda	Residuos resultantes de las operaciones de eliminación o tratamiento de residuos, tales como lodos, filtros, polvos, etc.	Tóxico por Lixiviación	1,2
	Residuos resultantes de las operaciones de eliminación o tratamiento de residuos, tales como lodos, filtros, polvos, etc.	Inflamable	0,57
	Soluciones básicas o bases en forma sólida.	Corrosivo	0,5
	Envases y recipientes contaminados que hayan contenido uno o más constituyentes enumerados en la Categoría II	Tóxico Crónico	0,4
	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier tratamiento pirolítico.	Inflamable	0,4

Establecimiento Generador	Tipo de Residuo/Contaminantes	Tipo de peligrosidad	Cantidad generada [Ton]
Mina Los Colorados	Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos	Tóxico Agudo	0,46
	Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices		
	Envases y recipientes contaminados que hayan contenido uno o más constituyentes enumerados en la Categoría II	Tóxico Crónico	0,37
	Compuestos de Mercurio	Tóxico Crónico	0,27
Planta de Pellets	Aceites minerales residuales no aptos para el uso al que estaban destinados	Inflamable; Tóxico Agudo	0,735
	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.	Tóxico Crónico, Reactivo; Tóxico Agudo; Inflamable; Corrosivo	0,14

Fuente: Elaboración propia en base a datos del RETC del día 9.08.2019

El reporte completo con los Residuos Peligrosos generados en el año 2017 obtenido desde el RETC, se encuentra en el ANEXO 6.

#### 9.2.1.1.3.1 CONCLUSIÓN RESIDUOS

A partir de los datos analizados para residuos generados por el RETC, se puede indicar que los residuos generados en mayor cantidad corresponden a los de tipo No Peligrosos, y de ellos los más generados son aquellos provenientes de los procesos de combustión, como las Cenizas Volantes y los polvos o cenizas desde calderas y del proceso de desulfuración (yeso).

#### 9.2.1.2 Revisión de Información del SEIA

Se realizó una búsqueda de todos los proyectos ingresados al SEIA correspondientes a la región de Atacama, pero que se encuentran en estado **aprobado** (validados por el SEIA), los cuales suman un total de 776 proyectos (ANEXO 7).

Posteriormente se seleccionaron todos aquellos que son desarrollados de forma completa o parcial en la comuna de Huasco, quedando finalmente 45 proyectos cuyos datos generales se presentan a continuación:

Tabla 13. Información general de los proyectos aprobados en el SEIA para la comuna de Huasco.

Nombre	Tipo	Comunas	Tipología	Titular	Fecha calificación	Sector productivo	Punto Geográfico representativo	
							Latitud	Longitud
Proyecto Agroindustrial del Valle de Huasco	EIA	Vallenar-Freirina-Huasco	l2	Agrocomercial AS Limitada	23-dic-2005	Agropecuario	-28,526006	-70,960616
Construcción de Emisario Submarino Alcantarillado Huasco	DIA	Huasco	o6	AGUAS CHAÑAR S.A.	23-nov-1998	Saneamiento Ambiental	-28,464914	-71,230155
Proyecto Cerro Blanco	EIA	Vallenar-Freirina-Huasco	i4	Atacama Sur SpA	22-may-2015	Minería	-28,611387	-71,097513
Sistema de Control de Emisiones Planta de Pellets de Huasco	DIA	Huasco	i1	Compañía Minera del Pacífico S.A.	12-oct-2018	Minería	-28,481962	-71,247941
Optimización en almacenamiento y suministro de combustible en Mina Los Colorados.	DIA	Huasco	ñ3	Compañía Minera del Pacífico S.A.	29-may-2017	Otros	-28,285466	-70,816515
Ampliación Subestación Eléctrica Los Colorados	DIA	Huasco	b1	Compañía Minera del Pacífico S.A.	1-feb-2012	Energía	-28,288918	-70,814106
Ampliación Subestación Eléctrica (S/E) Planta Pellets	DIA	Huasco	b2	Compañía Minera del Pacífico S.A.	1-feb-2012	Energía	-28,480627	-71,24435
Recuperación de Mineral de Hierro Contenido en Rechazos de la Planta de Beneficio Los Colorados	DIA	Huasco	i4	Compañía Minera del Pacífico S.A.	17-ene-2011	Minería	-28,28785	-70,813142
EIA Ampliación y Mejoras Operacionales en Mina Los Colorados	EIA	Vallenar-Freirina-Huasco	i4	Compañía Minera del Pacífico S.A.	3-nov-2010	Minería	-28,286136	-70,81567
Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets	EIA	Freirina-Huasco	k1	Compañía Minera del Pacífico S.A.	16-sept-2010	Instalaciones fabriles varias	-28,479126	-71,246727
Mejoramiento Tecnológico para la Producción de Concentrados de	DIA	Huasco	i4	Compañía Minera del	11-abr-2001	Minería	-28,480212	-71,247192

## Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nombre	Tipo	Comunas	Tipología	Titular	Fecha calificación	Sector productivo	Punto Geográfico representativo	
<b>Minerales de Hierro</b>				Pacífico S.A.				
<b>Ampliación y Habilitación Terminal Marítimo Las Losas Huasco III Región</b>	EIA	Huasco	f4	Compañía Minera del Pacífico S.A.	28-jul-1999	Infraestructura Portuaria	-28,471165	-71,236766
<b>Los Colorados Este</b>	EIA	Huasco	i4	Compañía Minera del Pacífico S.A.	23-may-1997	Minería	-28,291187	-70,803603
<b>Implementación y Construcción de Sendero Centenario en el Parque Nacional Llanos de Challe (e-seia)</b>	DIA	Huasco	t	CONAF, Región de Atacama	7-nov-2008	Otros	-28,185847	-71,153541
<b>Mejoramiento de Servicios Administrativos Parque Nacional Llanos de Challe</b>	DIA	Huasco	p	Corporación Nacional Forestal, CONAF	26-ene-1998	Otros	-28,185205	-71,157052
<b>Transporte Ferroviario de alimentos (e-seia)</b>	DIA	Freirina-Huasco	a1	EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIARIO S.A	8-feb-2008	Infraestructura Hidráulica	-28,523331	-70,947774
<b>Central Termoeléctrica Punta Alcalde</b>	EIA	Huasco	c	Enel Generación Chile S.A	28-jun-2012	Energía	-28,578432	-71,287400
<b>Guanaku Turismo Sustentable</b>	DIA	Huasco	g4	Felipe Omar Vera Soto	7-mar-2013	Inmobiliarios	-28,173082	-71,159175
<b>Planta Desalinizadora Guacolda</b>	DIA	Huasco	o7	Guacolda Energía S.A.	6-sept-2018	Saneamiento Ambiental	-28,468456	-71,254239
<b>Eliminación del uso de petcoke en central guacolda y ajuste de la capacidad de generación eléctrica</b>	DIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	9-jun-2017	Energía	-28,464964	-71,256566
<b>Adaptación de Unidades a la Nueva Norma de Emisión Para Centrales Termoeléctricas</b>	DIA	Huasco	ñ5	Guacolda Energía S.A.	25-feb-2014	Otros	-28,465376	-71,256238
<b>Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A</b>	EIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	23-ago-2010	Energía	-28,465115	-71,255619
<b>Ampliación de la capacidad de almacenamiento de combustibles</b>	DIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	22-ago-2008	Energía	-28,465115	-71,255619

## Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nombre	Tipo	Comunas	Tipología	Titular	Fecha calificación	Sector productivo	Punto Geográfico representativo	
sólidos en central térmica Guacolda (e-seia)								
Línea de transmisión 2X220 KV Guacolda - Maitencillo (e-seia)	DIA	Freirina-Huasco	b1	Guacolda Energía S.A.	18-ago-2008	Energía	-28,466022	-71,257814
Incremento de Generación y Control de Emisiones del Complejo Generador Central Térmica Guacolda S.A.	EIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	24-oct-2007	Energía	-28,465115	-71,255619
Flexibilización Unidad N°3 (e-seia)	DIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	23-oct-2006	Energía	-28,464753	-71,256245
Central Guacolda Unidad N° 3	EIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	20-abr-2006	Energía	-28,465115	-71,255619
Flexibilización de la Operación en la Central Termoeléctrica Guacolda (e-seia)	DIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	18-ago-2004	Energía	-28,463975	-71,257178
Usos de Mezclas de Carbón y Petcoke en Central Termoeléctrica Guacolda	EIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	25-may-2000	Energía	-28,465117	-71,255619
Central Termoeléctrica Guacolda y Vertedero	EIA	Huasco	c	Guacolda Energía S.A.	24-may-1995	Energía	-28,465117	-71,255619
Cierre y Sellado Vertedero Comuna de Huasco Vertedero Huasco	DIA	Huasco	o11	Ilustre Municipalidad de Huasco	7-feb-2013	Saneamiento Ambiental	-28,480081	-71,213558
Declaración de Impacto Ambiental Plan Regulador Comunal Comuna de Huasco (e-seia)	DIA	Huasco	h5	Ilustre Municipalidad de Huasco	7-jul-2007	Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas	-28,467103	-71,225347
Estudio Ingeniería Red de Alcantarillado y Disposición Final de Aguas Servidas Huasco Bajo Comuna de Huasco	DIA	Huasco	o1	Ilustre Municipalidad de Huasco	16-nov-1998	Saneamiento Ambiental	-28,471464	-71,179066
Reparaciones Escuela F-101 Huasco Bajo	DIA	Huasco	g2	Ilustre Municipalidad de Huasco	16-sept-1997	Equipamiento	-28,477362	-71,173617

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nombre	Tipo	Comunas	Tipología	Titular	Fecha calificación	Sector productivo	Punto Geográfico representativo	
Reposición Casa del Profesor Localidad Canto del Agua	DIA	Huasco	g2	Ilustre Municipalidad de Huasco	16-sept-1997	Equipamiento	-28,464008	-71,222024
Explotación Minera y Producción de Clinker y Cemento	EIA	Vallenar-Huasco	i4	Minera Melón S.A.	1-sept-1998	Minería	-28,470365	-71,235023
Ruta costera, sector puerto viejo carrizal bajo, región de atacama (e-seia)	DIA	Caldera-Copiapó-Huasco	p	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS	22-ene-2004	Otros	-28,092638	-71,145786
Diseño de Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Carrizal Bajo	DIA	Huasco	o3	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS	18-may-2001	Saneamiento Ambiental	-28,082463	-71,147665
Recepción y embarque de graneles minerales	DIA	Huasco	f1	Puerto Las Losas S.A.	14-ene-2015	Infraestructura Portuaria	-28,471753	-71,233728
Sitio 2 Puerto Las Losas (e-seia)	DIA	Huasco	f1	Puerto Las Losas S.A.	19-nov-2008	Infraestructura Portuaria	-28,471501	-71,238304
Puerto Las Losas (e-seia)	DIA	Huasco	f1	Puerto Las Losas S.A.	10-ene-2007	Infraestructura Portuaria	-28,471729	-71,241995
Plan Regulador Intercomunal Costero Huasco-Caldera-Chañaral	DIA	Caldera-Chañaral-Huasco	h4	Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, III Región	24-abr-2000	Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas	-27,067416	-70,821387
Plan Regional de Desarrollo Urbano (e-seia)	DIA	Caldera-Tierra Amarilla-Alto del Carmen-Chañaral-Diego de Almagro-Copiapó-Vallenar-Freirina-Huasco	h3	SEREMI MINVU ATACAMA	23-dic-2004	Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas	-27,368456	-70,332717
Estudio de Impacto Ambiental Proyecto El Morro	EIA	Alto del Carmen-Copiapó-Vallenar-Freirina-Huasco	i4	Sociedad Contractual Minera El Morro	22-oct-2013	Minería	-28,63033	-69,888225

## Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

---

Nombre	Tipo	Comunas	Tipología	Titular	Fecha calificación	Sector productivo	Punto Geográfico representativo	
<b>Transporte Terrestre de Sustancias Corrosivas en Región de Atacama</b>	DIA	Caldera-Tierra Amarilla-Alto del Carmen-Chañaral-Diego de Almagro-Copiapó-Vallenar-Freirina-Huasco	ñ5	TRANSPORTES VERASAY SPA.	13-sept-2016	Otros	-27,43822	-70,266326

Fuente: Elaboración propia en base a información del SEIA del 15.08.2019.

A partir de lo señalado en la Tabla anterior, se puede observar que del total de proyectos, hay 31 de ellos que fueron presentados como Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y 14 como Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

A continuación, se presentan los proyectos por sector productivo:

**Tabla 14. Cantidad de Proyectos Aprobados por el SEIA clasificados por DIAs y EIAs.**

Sector Productivo	Cantidad de Proyectos		
	Total	DIA	EIA
Agropecuario	1		1
Energía	13	7	6
Equipamiento	2	2	
Infraestructura hidráulica	1	1	
Infraestructura portuaria	4	3	1
Inmobiliarios	1	1	
Instalaciones Fabriles varias	1		1
Minería	8	3	5
Otros	6	6	
Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas	3	3	
Saneamiento Ambiental	5	5	
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>31</b>	<b>14</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos del SEIA del día 15.08.2019.-

De la tabla anterior, se observa que los proyectos corresponden principalmente al sector energético y minero.

Para el contexto del presente estudio, se han revisado 5 proyectos correspondientes a las principales actividades industriales que se realizan en la comuna de Huasco (o que parte de sus actividades se realizan en esta comuna), y que, a partir de los antecedentes, serían aquellas que más impactos ambientales podrían estar causando en la matriz suelo de la zona de estudio. Los proyectos revisados se indican en la siguiente Tabla, y su ubicación en la imagen siguiente (Figura 7).

Tabla 15. Proyectos revisados a partir de búsqueda realizada en el SEIA.

Clasificación proyecto ingresado	Nombre Proyecto	Titular del Proyecto	Tipo de documento revisado
EIAS	Central Termoeléctrica Punta Alcalde (2012).	Enel Generación Chile S.A.	RCA N°138/2012
	Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A (2010).	Guacolda Energía S.A.	RCA N°191/2010
	Proyecto Cerro Blanco, Atacama Sur SpA (2015).	Atacama Sur SpA	RCA N°90/2015
	Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets (2010).	Compañía Minera del Pacífico S.A.	RCA N°215/2010
	Estudio de Impacto Ambiental Proyecto El Morro (2013)	Sociedad Contractual Minera El Morro	RCA N°232/2013

Fuente: Elaboración propia en base a datos del SEIA del día 9.08.2019

Figura 7. Localización de proyectos revisados



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos desde el SEIA, como ubicación geográfica del punto referencial de cada proyecto. Imagen: Google Earth Pro.

Los proyectos seleccionados y revisados corresponden a EIAS, debido a que en este tipo de documentos es obligación presentar una adecuada caracterización de la zona de

estudio y de influencia de los proyectos que involucran aspectos relacionados con:

- Medio Físico y Biótico terrestre
- Medio Marino
- Medio Humano
- Medio Construido
- Medio Cultural
- El Paisaje

Además de la línea base deben realizar una evaluación de los Impactos Ambientales que estos generarán sobre los diferentes medios indicados anteriormente.

A continuación, se presenta un resumen de cada uno de los proyectos revisados, de los cuales se indica la información relevante en el contexto de este estudio.

Tabla 16. Información relevante de los proyectos ingresados al SEIA y revisados en el contexto del presente estudio.

Nombre Proyecto	Características del Proyecto	Información relevante
<p><b>EIA: Proyecto El Morro (2013)</b></p>	<p>El objetivo del Proyecto El Morro es la producción de concentrado de cobre mediante la extracción de mineral a través de la explotación a rajo abierto del yacimiento de cobre La Fortuna y su procesamiento mediante flotación convencional a razón de 90.000 toneladas diarias de mineral. La producción de concentrado de cobre será de aproximadamente 2.215 toneladas por día. Las obras necesarias para la extracción y procesamiento del mineral se agrupan en las tres áreas señaladas, es decir, Mina-Planta, quebrada Algarrobal y Totoral.</p> <p>El proyecto se ejecutará en la Región de Atacama, en la provincia de Huasco y Copiapó, comunas de Alto del Carmen, Copiapó, Freirina, Huasco y Vallenar.</p> <p>Es un proyecto cuya vida útil será de 14 años.</p>	<p>Este es un proyecto que aún no ha iniciado sus faenas. Forma parte de la comuna de Huasco, aunque se encuentra alejado de la ciudad, aproximadamente unos 12 km hacia el sur.</p> <p><b><u>Información línea de base relevante sobre el recurso suelo:</u></b></p> <p>En relación a suelos, se indica información general sobre la composición química de éstos correspondiente a los siguientes sectores: Área Totoral, Quebrada Algarrobal, área Planta y Mina del proyecto.</p> <p>Se indica también un muestreo de suelos realizado en el área del proyecto, en donde se determinaron las concentraciones de los siguientes elementos químicos: Cobre (Cu), Hierro (Fe), Molibdeno (Mo), Arsénico (As), Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Sílice (Si) , Manganeso (Mn) y Zinc (Zn).</p> <p>El resultado del análisis de los suelos, indica que el Cu y el Mo son elementos que se encuentran en concentraciones elevadas respecto de la literatura (INIA, 1990 “Suelos Agrícolas de la III región), pero son lugares muestreados cercanos al yacimiento del proyecto (12 km al sur de la ciudad de Huasco), por lo cual, se atribuye a esto las altas concentraciones.</p>

Nombre Proyecto	Características del Proyecto	Información relevante
<p><b>EIA: Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A. (2010)</b></p>	<p>Este es un proyecto que se encuentra ubicado en la costa de la Región de Atacama, en la Península de Guacolda, aledaña a la ciudad de Huasco. Este proyecto tiene por objetivo la instalación de una nueva unidad de generación termoeléctrica tipo monoblock diseñada para consumir combustibles sólidos por medio de un generador de vapor o caldera, de tecnología de carbón pulverizado (PC). Además, el proyecto contempla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificaciones en las unidades 1 y 2 con el objetivo de disminuir las emisiones atmosféricas de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.</li> <li>- La modificación del Sistema de Manejo del vertedero de Cenizas, con el fin de poder agregar las cenizas, escorias y yeso generados por la Unidad 5. Este vertedero tendrá una vida útil de 8 años y podrá ser utilizado hasta el 2020.</li> <li>- Ampliación del área de Almacenamiento de Combustibles Sólidos.</li> </ul> <p>Es un proyecto cuya vida útil es de 50 años.</p>	<p><b><u>Fuentes de emisiones atmosféricas:</u></b> Vertedero de cenizas en donde se agregan las cenizas, escorias y yeso provenientes del desulfurador; cancha de carbón (con una altura máxima de 15 m); acopio de caliza: emitirán Material Particulado "MP". Unidades de generación de energía 1, 2, 3, 4 y 5: emitirán MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, V, Ni y As: Planta desalinizadora.</p> <p><b><u>Monitoreo de las emisiones atmosféricas:</u></b> En cada una de las unidades generadoras, se realizará el monitoreo de los siguientes contaminantes: Unidad 1: MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, V, Ni y As. Unidad 2: MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, V, Ni y As. Unidad 3: MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, V, Ni y As. Unidad 4: MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>. Unidad 5: MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>.</p> <p><b><u>Monitoreo de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos:</u></b> Las concentraciones de contaminantes se realizarán en las siguientes estaciones de monitoreo: EME F: MP<sub>10</sub>; NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; CO; O<sub>3</sub>; Ni y V. EME M: MP<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, Ni y V. 21 de mayo: MP<sub>10</sub>.</p> <p><b><u>Modelación de las concentraciones de contaminantes:</u></b> Según la línea de base, se indica que la zona evaluada fue de 221 km<sup>2</sup> que incluyó los sectores de Huasco, Huasco bajo, El Pino, Los Loros y Freirina, donde las Estaciones de Monitoreo utilizadas fueron: SM1, SM2, SM3, SM4, SM5, SM6, SM7 y SM8 para el SO<sub>2</sub>; las estaciones EME M y EMEF para MP<sub>10</sub>, Ni y V en MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO y NO<sub>2</sub>. Los puntos de máximas concentraciones corresponden a: Villa Guacolda; EME M; EME F; PMI y PMI habitado.</p> <p><b><u>Residuos:</u></b> Residuos que generará el proyecto y que pueden ser potenciales fuentes de contaminantes: - Cenizas volantes y de fondo (80 y 20% respectivamente).</p>

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

---

<b>Nombre Proyecto</b>	<b>Características del Proyecto</b>	<b>Información relevante</b>
		<ul style="list-style-type: none"><li>- Residuos sólidos: residuos peligrosos en pequeñas cantidades; residuos domésticos; residuos industriales no peligrosos.</li></ul>

Nombre Proyecto	Características del Proyecto	Información relevante
<b>EIA Proyecto Cerro Blanco</b>	<p>El objetivo del Proyecto contempla todas las obras e instalaciones necesarias para la explotación y procesamiento del mineral de rutilo (óxido de titanio). Los requerimientos de agua del proceso serán suplidos mediante agua de mar desalinizada. Por otro lado, para el suministro eléctrico del Proyecto, se contemplan la construcción de líneas eléctricas que conecten a las instalaciones del Proyecto a la red de abastecimiento de energía eléctrica existente (Sistema Interconectado Central o SIC).</p> <p>El Proyecto se emplaza en la III Región de Atacama, Provincia de Huasco. Las obras que contempla el Proyecto se localizan principalmente en las comunas de Freirina y Huasco, y en menor medida en la comuna de Vallenar.</p> <p>El Proyecto tendrá una vida útil estimada de 24 años.</p>	<p>Este es un proyecto que aún no ha iniciado sus faenas.</p> <p>Es un proyecto que forma parte de la comuna de Huasco, se encuentra alejado de la ciudad, aproximadamente unos 7 km hacia el sureste.</p> <p><b><u>Información línea de base relevante sobre el recurso suelo:</u></b></p> <p>En este estudio, se realiza una revisión bibliográfica de las características del suelo de la zona donde se emplazará el proyecto, pero también se realizan 18 calicatas, las cuales son caracterizadas visualmente indicando: morfología, color, granulometría, clase de suelo, y descripción del entorno. Sin embargo, no se indica información en relación a la composición química de los suelos.</p>
<b>EIA: Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets</b>	<p>Este es un proyecto que se encuentra ubicado en la Comuna de Huasco, Provincia de Huasco, III Región de Atacama, distante aproximadamente 3 km en línea recta, en dirección Sur Oeste del Puerto Huasco, específicamente en el sector denominado Bahía Chapaco.</p> <p>El objetivo de este proyecto es aumentar la capacidad de producción de Pellet Feed de la Planta de Pellets de Huasco en 2,0 Millones de toneladas</p>	<p><b><u>Fuentes de emisiones atmosféricas:</u></b></p> <p>Chimeneas (2A, 2B y Nueva Línea): PM10; SO<sub>2</sub>; NOx.</p> <p>Transporte del concentrado de Fe por el ferrocarril; descarga del preconcentrado de Fe; Planta de Peletización en donde se encuentran: acopio de preconcentrado de Fe (en donde se almacenan también minerales de Fe que no ingresan al proceso y solo son embarcados), acopio de pellets feed, acopio de pellets producto, acopio de pellets chip, acopio de granzas, cancha de carbón, acopios intermedios y de emergencia, planta de cal y acopio de caliza: Material Particulado "MP".</p> <p><b><u>Modelación de las concentraciones de contaminantes:</u></b></p> <p>Según la línea de base, se indica que las Estaciones de Monitoreo utilizadas para realizar el</p>

Nombre Proyecto	Características del Proyecto	Información relevante
	<p>por año, mediante una cuarta línea de molienda, y posteriormente aumentar el valor agregado del Pellet Feed, mediante una segunda línea de Peletización con capacidad para producir 2,4 Mt/año de capacidad. Además, el proyecto contempla realizar las mejoras a la vía férrea utilizada actualmente, desde la Estación Maitencillo (el punto en que confluyen todas las vías de abastecimiento de preconcentrado desde distintas faenas mineras) hasta la Planta, lo que corresponde al tramo final de la vía férrea de 36 km (propiedad del Titular, CAP), que pasa por las comunas de Freirina y Huasco.</p> <p>Es un proyecto cuya vida útil será de 25 años.</p>	<p>modelamiento de las concentraciones de contaminantes fueron: SM1, SM2, SM3, SM4, SM5, SM6, SM7 y SM8 para el SO<sub>2</sub>; las estaciones EME M y EME F para MP<sub>10</sub>, Ni, V, As, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>; en las Estaciones N°1, N°2, N°3, N°4, N°5, N°6 y Estación Maitencillo MPS, Hierro en MPS.</p> <p>Los puntos de máximas concentraciones corresponden a: Zona Industrial Planta de Pellets (279250 E, 6848000 N, PSAD 56) para todos los contaminantes; Estación Huasco II para los contaminantes MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>; Estación SM7 para SO<sub>2</sub> y Estación N°1 para MPS.</p> <p><b>Monitoreo de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos:</b> Las concentraciones de contaminantes se realizarán en las siguientes estaciones de monitoreo: Población Huasco II: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, MP<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>, MPS. Estación N°1, N°2, N°3, N°4, N°5, N°6: MPS, Hierro en MPS.</p> <p><b>Otras informaciones:</b> Productos que genera el Proyecto: aglomerados de minerales de hierro (esferas de 9 a 16 mm de diámetro, denominadas pellets) Adicionalmente, se produce concentrado magnético de alta ley, denominado pellet feed y un subproducto de la Peletización, denominado pellet chips. *En el proceso, la oxidación de pellets es de magnetita a hematita.</p> <p>Insumos principales del proyecto: preconcentrado de hierro transportado a la planta de Pellets en ferrocarril (10 a 15 viajes de tren por día), carbón bituminoso y caliza (CaCO<sub>3</sub>) para el proceso de peletización, cal viva (CaO).</p> <p><b>Residuos:</b> El proceso productivo de Planta de Pellets no contempla la disposición de cenizas producto de la quema de carbón. Ello, debido a que el proceso de endurecimiento térmico se lleva a cabo a elevadas temperaturas con escasa generación de cenizas, las cuales, en todo caso, quedan incorporadas al producto.</p>
<p><b>EIA: Central Termoeléctrica Punta Alcalde (2010)</b></p>	<p>El proyecto Central Termoeléctrica Punta Alcalde, tiene como objetivo la construcción y operación de una central termoeléctrica constituida por dos (2) bloques o unidades de potencia, de aproximadamente de 370 MW de capacidad cada</p>	<p>Este es un proyecto que aún no ha iniciado sus faenas. Es un proyecto que forma parte de la comuna de Huasco, se encuentra alejado de la ciudad, aproximadamente unos 14 km hacia el sur.</p>

Nombre Proyecto	Características del Proyecto	Información relevante
	<p>uno (2x370 MW), es decir, aproximadamente 740 MW instalados y donde el combustible a utilizar en este proyecto es carbón subbituminoso. Además, dentro del proyecto se contempla construir un muelle mecanizado para descargar carbón, habilitar canchas de acopio de dichos minerales y habilitar un depósito para la disposición de cenizas y escorias resultantes del proceso.</p> <p>Este proyecto estará ubicado aproximadamente a 2 km al norte de un sector conocido como Punta Alcalde, en la comuna de Huasco, provincia de Huasco, región de Atacama.</p> <p>La vida útil del proyecto, desde un punto de vista de operación, se estima de un mínimo en 30 años. Sin embargo, ésta podría ser aumentada con los procesos de mantenimiento y reemplazo de equipos.</p>	<p><b><u>Información línea de base relevante sobre el recurso suelo:</u></b></p> <p>En relación a los suelos, no se señala información en relación a la composición químicas de ellos, solo indica una descripción muy general de estos, de la zona donde se emplazará el proyecto, correspondiente a:</p> <p>“En conclusión, los suelos comprendidos en los sectores en donde se desarrollará el proyecto (central termoeléctrica y depósito de cenizas) presentan serias limitaciones para el uso agrícola, ganadero o forestal. Son suelos que carecen de horizontes bien desarrollados, dominados por texturas gruesas, de drenaje excesivo y alto contenidos de sales. El uso de estos suelos se limita a la vida silvestre, recreación y protección de hoyas hidrográficas”.</p>

### **9.2.1.2.1 Conclusiones de información obtenida del SEIA**

A partir de la revisión realizada de los 5 proyectos antes mencionados, se concluye lo siguiente:

#### **i. Suelos:**

De todos los proyectos revisados, solo uno realiza una descripción sobre la matriz suelo, y corresponde al EIA Proyecto El Morro, donde se realizó un estudio de las concentraciones de metales de los suelos en el sector denominado El Morro. En este análisis se realizó la determinación de la concentración de los siguientes metales: Aluminio (Al), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Plomo (Pb), Sílice (Si) y Zinc (Zn).

#### **ii. Aire y emisiones atmosféricas:**

Todos los proyectos entregan información relevante sobre la matriz aire, tanto en sus líneas de base, como de calidad del aire en la situación con y sin proyecto. De esta información, se puede mencionar como antecedente para el presente estudio lo siguiente:

- Las emisiones atmosféricas que cada proyecto generará, en donde se ha podido observar que todos generarán los contaminantes atmosféricos MPS, MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> medidos como NO<sub>2</sub>, a excepción de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y concentraciones de Fe, en donde el primero solo será emitido por la Central Térmica Guacolda y el segundo por la Planta de Pellets de CAP.
- En cada uno de los proyectos, se indican las estaciones de medición que fueron utilizadas para realizar los cálculos de concentración de cada uno de los contaminantes atmosféricos en la zona del proyecto y sus alrededores. Estas estaciones de monitoreo, en su mayoría fueron las mismas para los diferentes proyectos.
- Todas las fuentes de posible contaminación que son señaladas en los proyectos, generarán emisiones de Material Particulado; en cambio, las emisiones del resto de los contaminantes, solo serán generadas por las chimeneas y/o plantas generadoras de energía, es decir, donde ocurren procesos de combustión.

#### **iii. Residuos:**

El principal residuo que se generará y que tiene relación con el presente estudio,

corresponde a las cenizas, las cuales son generadas por la Central Termoeléctrica Guacolda. La compañía CAP indica que no se generará este tipo de residuo, ya que es integrado en el proceso productivo.

**iv. Otras informaciones:**

La materia prima que se emplea en la planta de Pellets de CAP, corresponde al preconcentrado de Fe proveniente desde Mina Los Colorados a través de una línea férrea de 86 km. Antes también se recibía mineral de Mina El Algarrobo, mediante vía férreas de 109 km. Desde Mina Los Colorados, se realizan aproximadamente 15 viajes/día, y el trayecto cruza por zonas agrícolas como los sectores Huasco Bajo y El Pino, y también áreas urbanas como la ciudad de Huasco (Figura 7). El tren consiste en 35 carros que transportan 60 toneladas de preconcentrado de Fe cada uno.

Figura 8. Localización líneas férreas



Fuente: Línea de Base EIA Proyecto Ampliación y Mejoras Operacionales Planta de Pellets

En relación con el carbón que se utiliza en los proyectos, éste es abastecido por vía marítima. Los reactivos como cal y caliza son transportados a través de vía terrestre por las principales rutas del sector hacia los diferentes proyectos.

### **9.2.1.3 Revisión Información del SINCA y meteorológica**

Se revisó información de calidad del aire y de estaciones que miden variables meteorológicas del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente.

Con el objetivo de determinar el potencial de impacto de las fuentes de contaminación, identificadas en la comuna de Huasco, en el componente ambiental suelo, se evaluó la información registrada en 3 estaciones de monitoreo de la comuna, aquella relacionada con la meteorología y en específico el comportamiento del viento.

Lo anterior se plantea, debido a que la meteorología tiene un papel importante en la dispersión y transporte de contaminantes, es así como el viento es uno de los principales parámetros meteorológicos relacionados con los impactos en la calidad del aire (DICTUC, 2012). Complementariamente, en el estudio MMA/CENMA (2017), se indica que el viento sería uno de los principales causantes del transporte de material contaminante desde las potenciales fuentes hacia el sector de Huasco urbano y Huasco bajo.

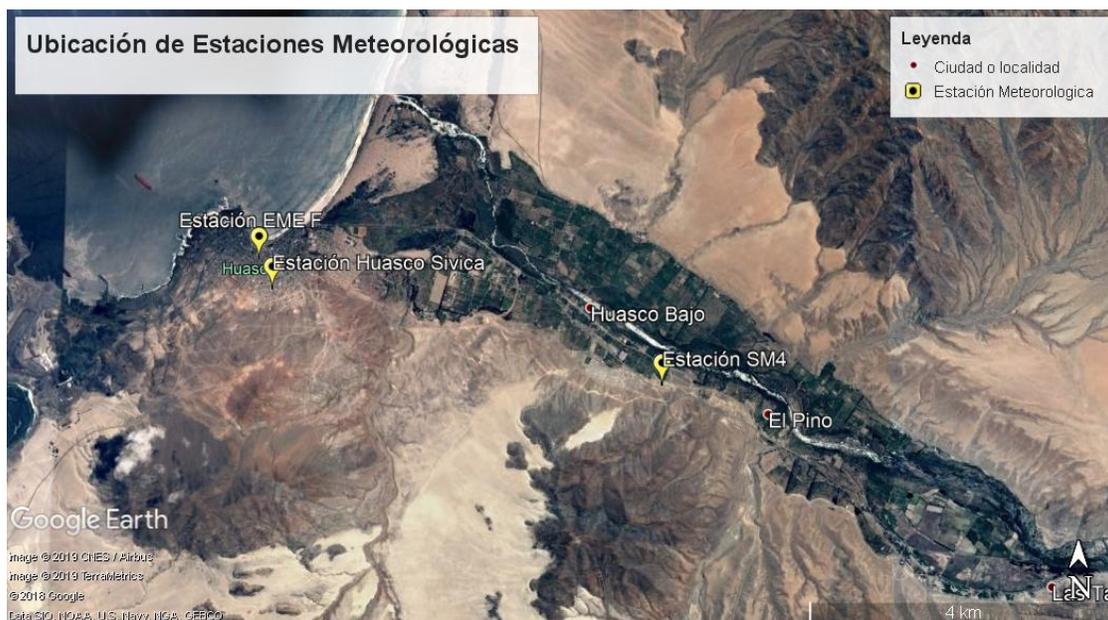
De los datos indicados a continuación, es importante señalar que la información meteorológica servirá para tomar decisiones en el Plan de Muestreo.

#### **9.2.1.3.1 Régimen de vientos comuna Huasco**

La caracterización de los vientos ha sido realizada en base a los datos obtenidos de forma remota desde 3 estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio, correspondientes a EME-F y Huasco Sívica, ambas ubicadas en la zona urbana de la comuna de Huasco; y la estación SM4, ubicada en la zona rural de la comuna denominada Huasco Bajo (Figura 9).

Estas estaciones se encuentran activas actualmente y en línea con el Sistema de Información Nacional de calidad de Aire (SINCA) perteneciente al Ministerio del Medio Ambiente, desde donde fueron obtenidos los datos.

Figura 9. Localización estaciones Meteorológicas



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos desde el sistema de información nacional de calidad de aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente. Imagen: Google Earth Pro.

Si bien en la zona, existe una gran cantidad de estaciones de monitoreo, solo estas tres cuentan con estaciones meteorológicas y por ende, con un registro de datos de viento. A continuación, se señalan información sobre estas tres estaciones.

Tabla 17. Información sobre cada una de las estaciones de monitoreo empleadas para realizar el análisis de los vientos.

Nombre Estación	Propietario	Operador	Parámetros Meteorológicos	Parámetros contaminantes
EME-F	Guacolda Energía S.A.	CESMEC S.A.	Dirección del viento Velocidad del viento	SO <sub>2</sub> ; CO; NO <sub>2</sub> ; NO; O <sub>3</sub> ; MP <sub>10</sub> ; MP <sub>2,5</sub>
Huasco Sivica	Ministerio del Medio Ambiente	Algoritmos y Mediciones Ambientales SPA	Radiación Global Humedad Relativa del aire Temperatura ambiente Dirección del viento Velocidad del viento	MP <sub>2,5</sub>
SM4	Guacolda Energía S.A.	CESMEC S.A.	Dirección del viento Velocidad del viento	SO <sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos desde el Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

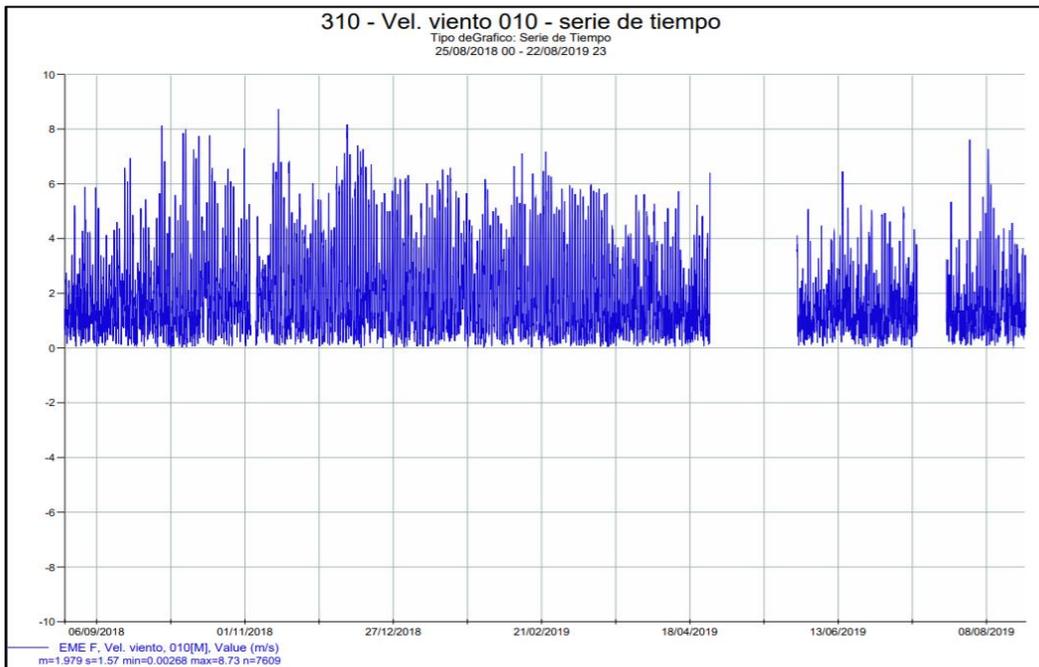
Es importante señalar, que el periodo de datos presentados a continuación para cada estación, depende de la cantidad de datos registrados para cada una y disponibles en el

sitio web del SINCA, es así como para las estaciones EME-F y SM4, solo se indica información para un año (agosto 2018 - agosto 2019) y para la estación Huasco Sivica se presenta para tres años (mayo 2016 – agosto 2019).

### 9.2.1.3.1.1 ESTACIÓN EME-F

#### i. Velocidad de Viento – variabilidad anual:

Figura 10. Velocidad del viento (m/s) medida a 10 m de altura en estación EME-F, comuna de Huasco. Período de medición: 25-08-2018 al 22-08-2019.



Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

Se puede observar a partir de los datos de la figura anterior, que la velocidad del viento durante un periodo de un año presenta variaciones que van desde valores cercanos a cero, hasta un valor máximo de 8,73 m/s registrado en el mes de noviembre del año 2018.

Asimismo, se puede observar que el período comprendido entre octubre a enero-febrero, es que presenta vientos con una mayor velocidad, en cambio ésta disminuye en los meses de abril y agosto.

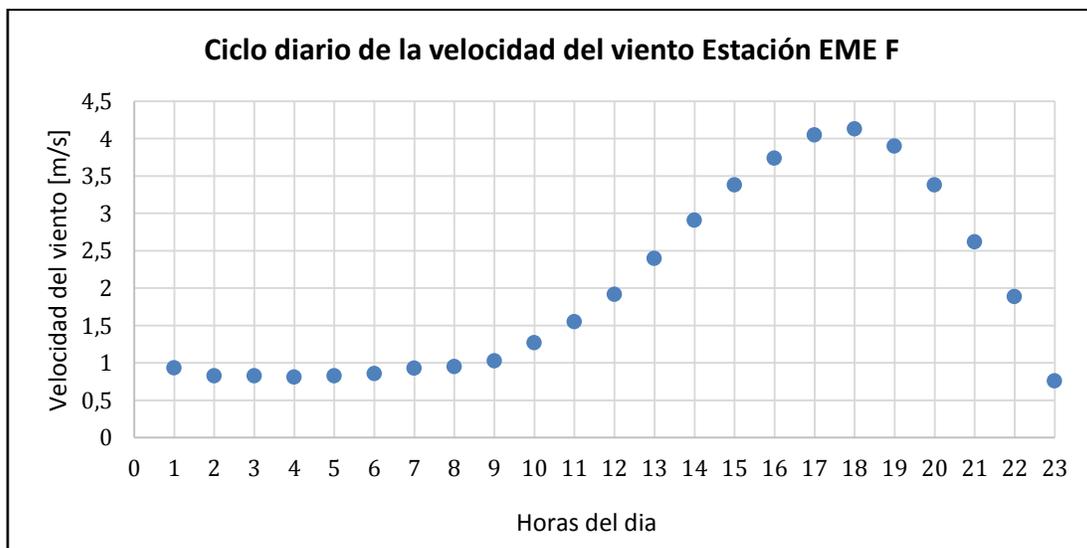
### ii. Velocidad de Viento – variabilidad diaria:

Con el objetivo de ver el comportamiento diario de la velocidad del viento, en la Figura 11 se indican los valores promedio para cada hora del día, en donde se observa la variabilidad del viento durante una jornada diaria.

Se puede observar que las velocidades máximas ocurren durante la tarde, entre las 15:00 y 18:00 horas, observándose el valor máximo a las 17:00 hrs con una velocidad aproximada de 4,13 m/s.

Por su parte, las velocidades de viento más bajas se presentan durante la noche, a partir de las 22:00 hasta las 7:00 hrs, en donde la velocidad fluctúa entre los 0,76 m/s y 0,95 m/s.

Figura 11. Velocidad del viento diaria promedio, estación EME F, comuna de Huasco. Periodo de medición: 25-08-2018 al 22-08-2019.

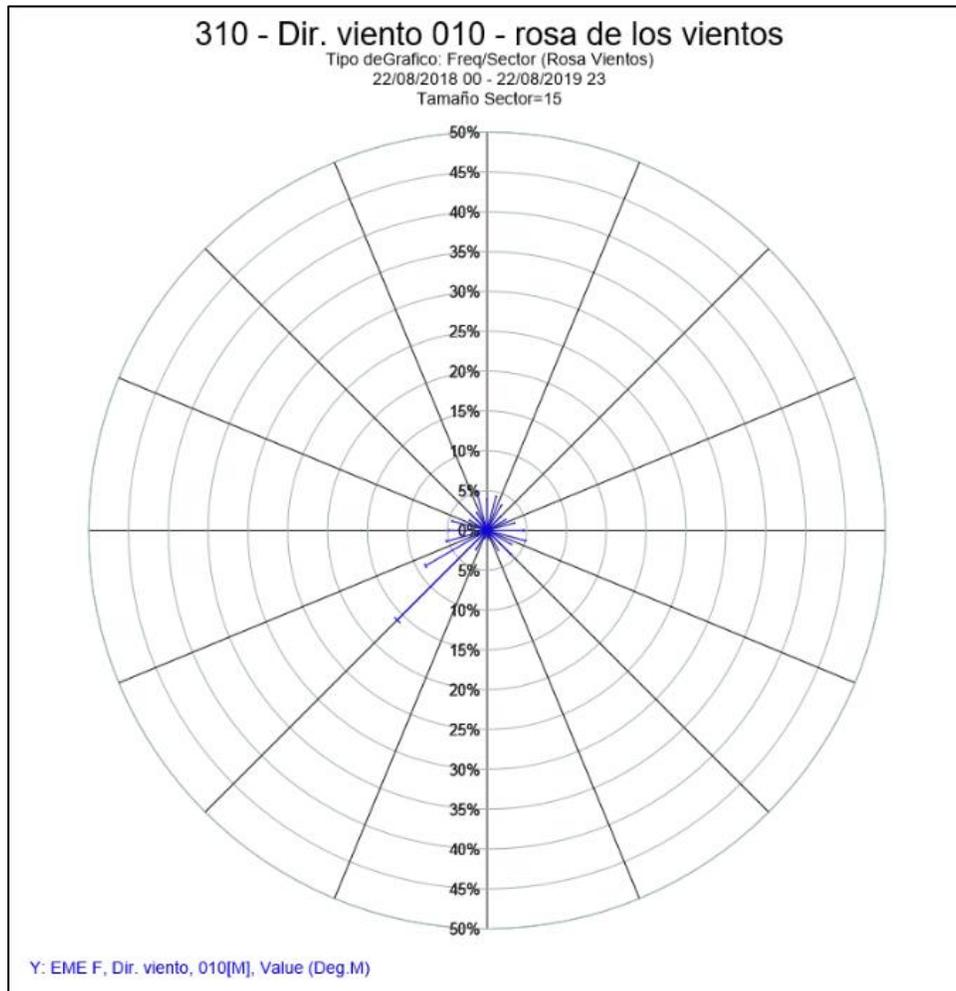


Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

### iii. Dirección del viento y velocidad – rosa de vientos

A partir de los datos indicados por la rosa de los vientos para la estación EME-F (Figura 12), se puede observar que los vientos predominantes, son aquellos provenientes desde la dirección Suroeste (SO), las cuales corresponden aproximadamente a un 30%, del conjunto total de datos estudiados para un año (agosto 2018-agosto 2019). El resto de los vientos provienen desde todas las otras direcciones, pero con velocidades menores.

Figura 12. Rosa de vientos Estación EME F medición realizada a 10 m de altura, comuna de Huasco. Periodo de medición: 22-08-2018 al 22-08-2019.



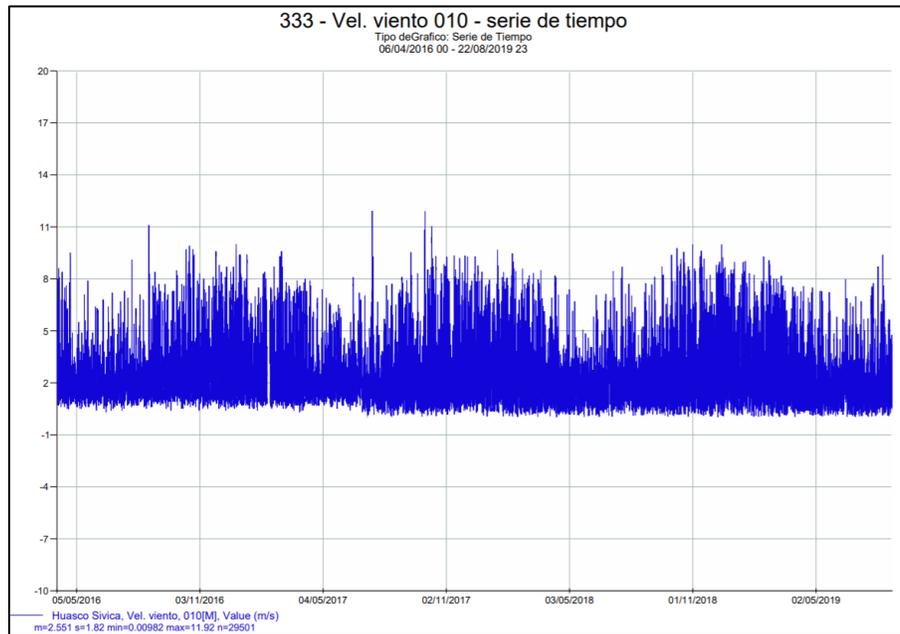
Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

#### 9.2.1.3.1.2 ESTACIÓN HUASCO SIVICA:

##### *i. Velocidad de Viento – variabilidad anual:*

A partir de los datos de la Figura 13, la cual indica la velocidad del viento durante un periodo de tres años para la estación Huasco Sivica, se puede observar que la velocidad del viento ha presentado un comportamiento relativamente cíclico, ya que el comportamiento es similar para los mismos meses en diferentes años, como, por ejemplo, en los meses de mayo-junio se puede observar que hay una disminución en los valores máximos del viento y en la temporada estival un alza en éstas.

Figura 13. Velocidad del viento (m/s) medida a 10 m de altura en la estación Huasco Sivica, comuna de Huasco. Periodo de medición: 06-04-2016 al 22-08-2019.



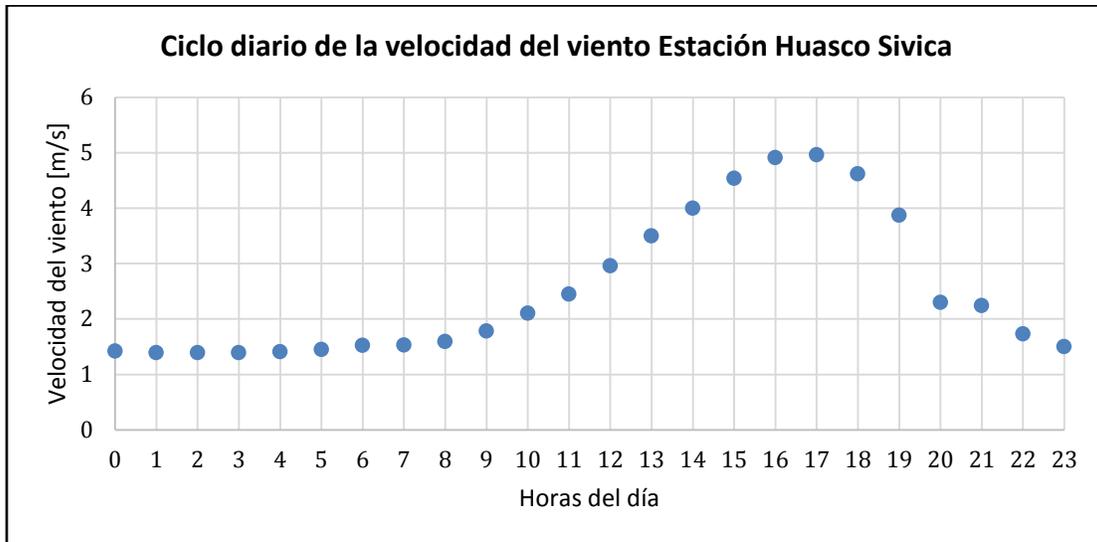
Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

En relación a las velocidades más altas de viento, se observa que una de ellas se presenta en el mes de julio del año 2017 con un valor de 11,92 m/s, seguida por otra presentada en el mes de octubre del mismo año. En el caso de la velocidad más baja, esta se presentó en el mes de diciembre del año 2018.

#### ii. Velocidad de Viento – variabilidad diaria:

Para la estación Huasco Sivica, se observa una variabilidad del viento en donde las velocidades máximas ocurren durante la tarde, entre las 15:00 y 18:00 horas, y donde la velocidad máxima se presenta a las 17:00 hrs con un valor de 4,96 m/s. En el caso de los valores más bajos de velocidad, estos ocurren durante la noche, a partir de las 23:00 hasta las 7:00 hrs, en donde la velocidad fluctúa entre los 1,53 m/s y 1,39 m/s.

Figura 14. Velocidad del viento diaria promedio, estación Huasco Sívica, comuna de Huasco. Periodo de medición: 06-04-2016 al 22-08-2019.



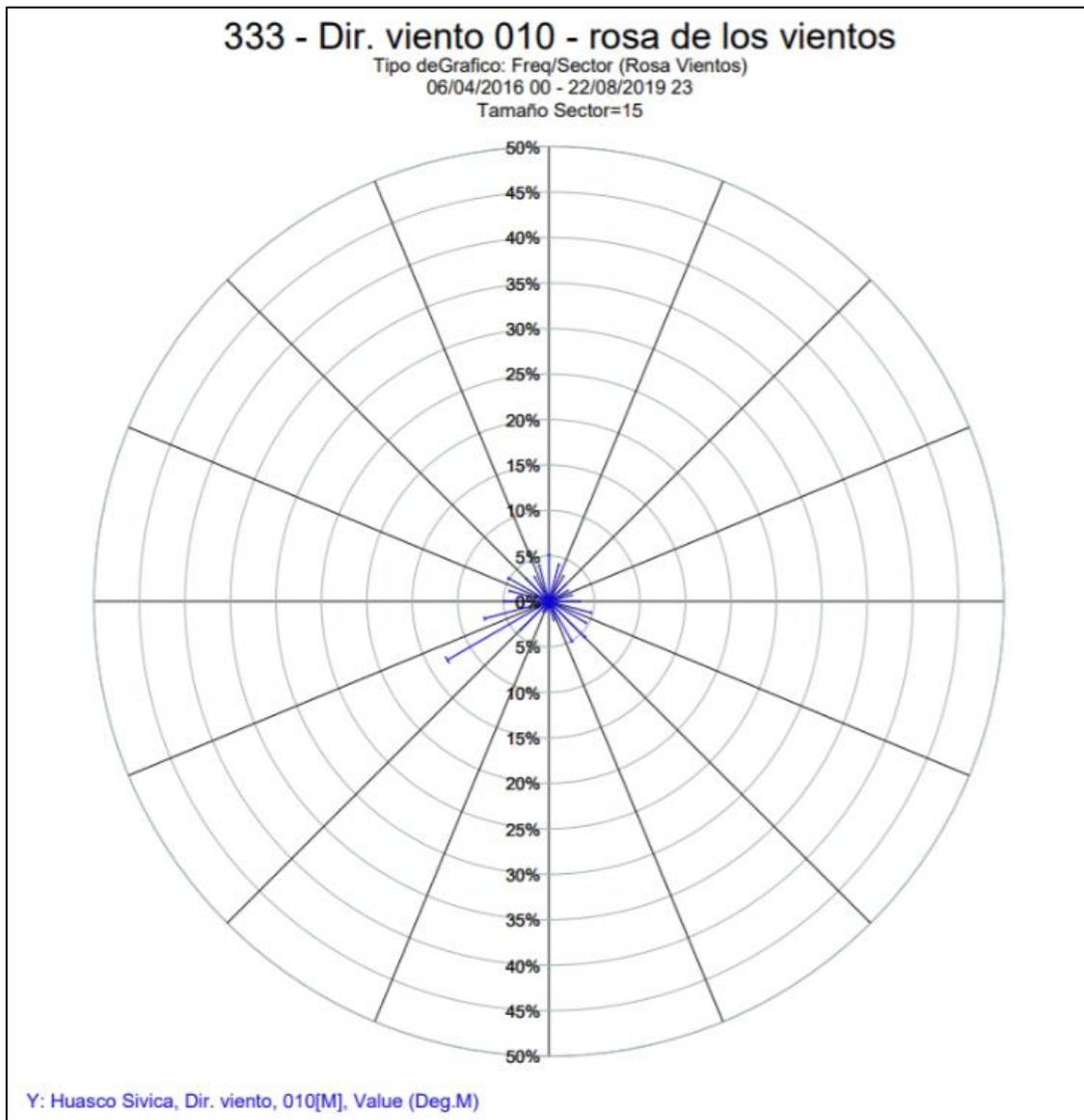
Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

**iii. Dirección del viento y velocidad – rosa de vientos**

A partir de los datos indicados por la rosa de los vientos para la estación Huasco Sívica (Figura 15), se puede observar que los vientos predominantes y con mayores velocidades, son aquellos provenientes desde la dirección Suroeste (SO), las cuales corresponden aproximadamente a un 20-25%, del conjunto total de datos estudiados para tres años (mayo 2016- agosto 2019).

El resto de los vientos provienen desde todas las otras direcciones, pero con velocidades menores.

Figura 15. Rosa de vientos Estación Huasco Sivica medición realizada a 10 m de altura, comuna de Huasco. Periodo de medición: 06-04-2016 al 22-08-2019.



Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente

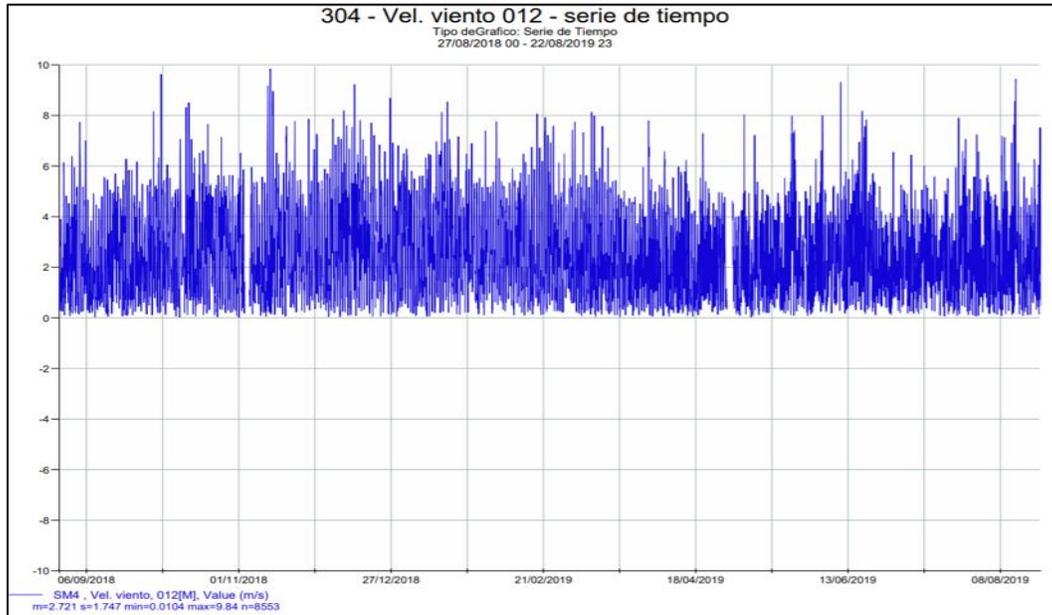
Se puede concluir que al revisar las dos estaciones meteorológicas, el comportamiento del viento, tanto en velocidad y dirección es muy similar, lo cual es coherente debido a que ambas estaciones se encuentran ubicadas en la zona urbana de la comuna de Huasco.

Sin embargo, la estación Huasco Sivica presenta valores mayores de velocidad del viento, cuyo motivo puede ser debido a que esta se encuentra un poco más al sur, justamente desde la dirección principal de donde proviene el viento.

### 9.2.1.3.1.3 ESTACIÓN SM4:

#### i. Velocidad de Viento – variabilidad anual:

Figura 16. Velocidad del viento (m/s) medida a 12 metros de altura en Estación SM4, comuna de Huasco. Periodo de medición: 27-08-2018 al 22-08-2019.



Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

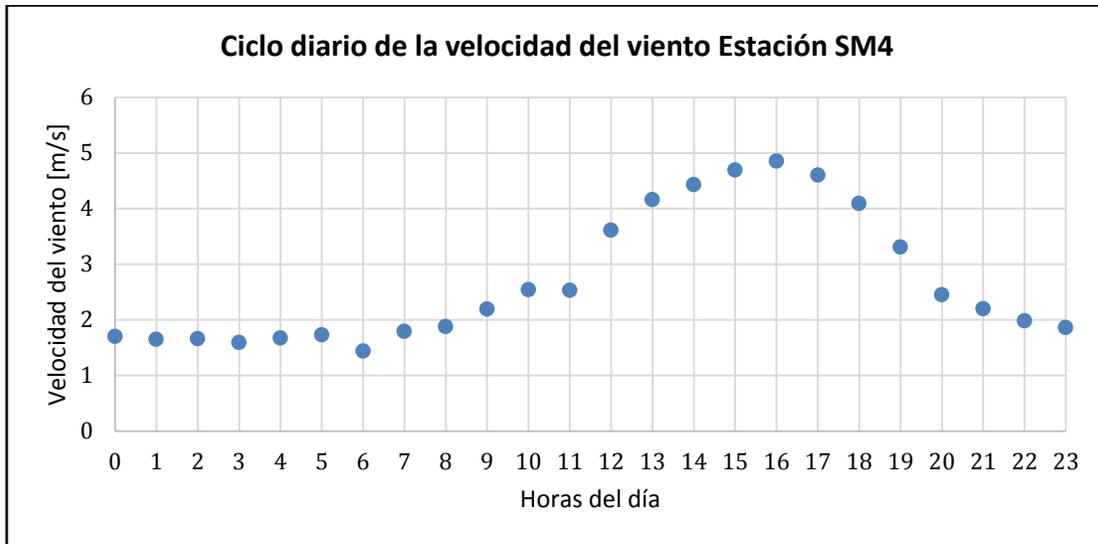
A partir de los datos de la Figura 16, se puede observar que la velocidad del viento en la Estación SM4 presenta variaciones que van desde valores cercanos a cero, hasta un valor máximo de 9,84 m/s registrado en el mes de noviembre del año 2018. Así mismo, se puede observar de forma similar a las estaciones analizadas anteriormente, que es en el periodo estival, donde se presentan los valores de velocidad más altos y en inviernos los más bajos.

#### ii. Velocidad de Viento – variabilidad diaria:

Para la estación SM4, se observa una variabilidad del viento en donde las velocidades máximas ocurren durante la tarde, entre las 13:00 y 18:00 horas, y donde la velocidad máxima se presenta alrededor de las 16:00 hrs con un valor de 4,85 m/s.

En el caso de los valores más bajos de velocidad, estos ocurren durante la noche, a partir de las 01:00 hasta las 06:00 hrs, en donde la velocidad fluctúa entre los 1,44 m/s y 1,7 m/s (Figura 17).

Figura 17. Velocidad del viento diaria promedio, estación SM4, comuna de Huasco. Periodo de medición: 27-08-2018 al 22-08-2019.

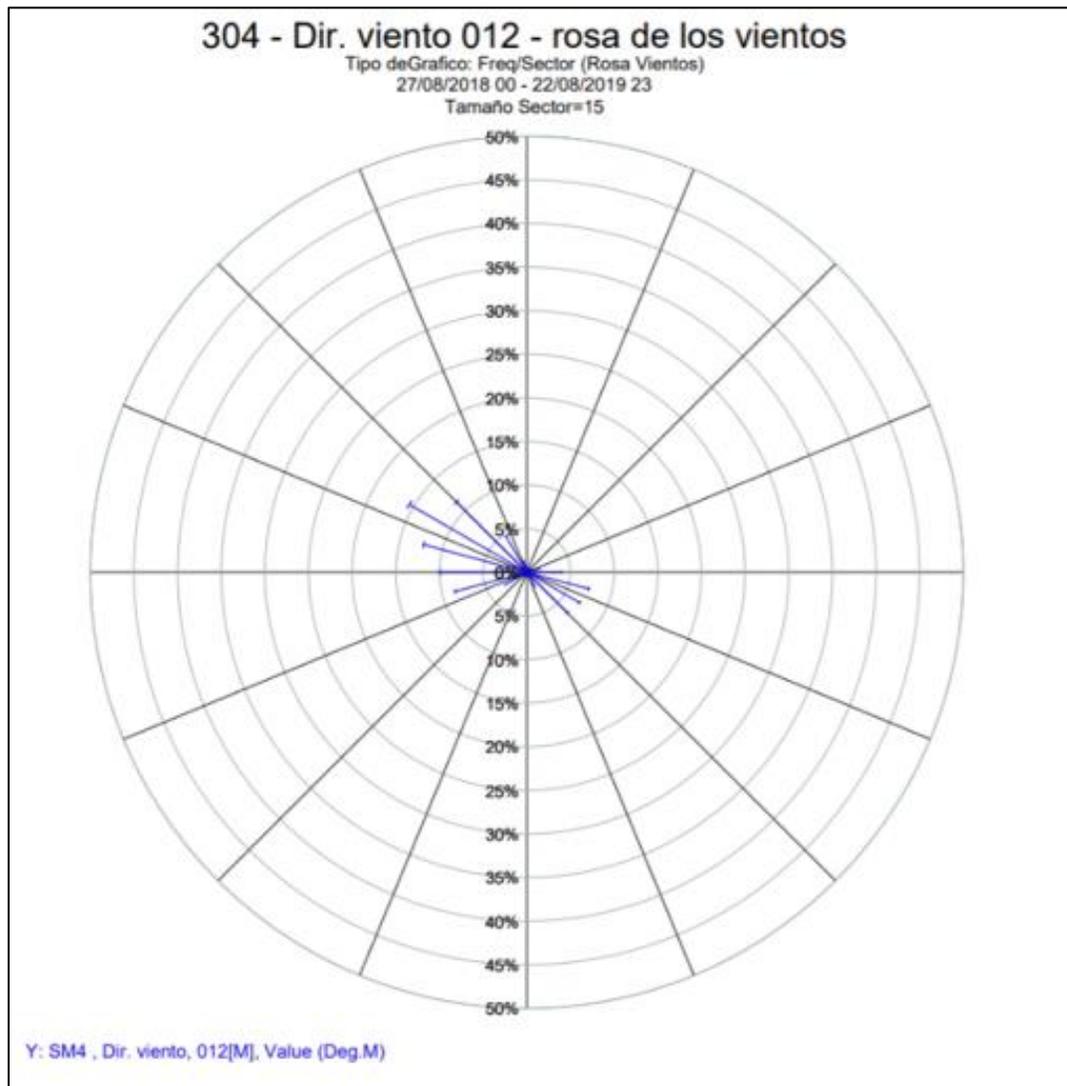


Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

**iii. Dirección del viento y velocidad – rosa de vientos**

A partir de los datos indicados por la rosa de los vientos para la estación SM4 (Figura 18), se puede observar que los vientos predominantes y con mayor velocidad, son aquellos provenientes desde la dirección Noroeste (NO), las cuales corresponden aproximadamente a un 35%, del conjunto total de datos estudiados para tres años (agosto 2018- agosto 2019). También se puede apreciar que el resto de los vientos, provienen desde Sureste (SE), pero con menores velocidades.

Figura 18. Rosa de vientos Estación SM4 medición realizada a 12 m de altura, comuna de Huasco. Periodo de medición: 27-08-2018 al 22-08-2019.



Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), del Ministerio del Medio Ambiente.

### 9.2.1.4 Estudios y documentos analizados

En la tabla siguiente se presentan antecedentes resumidos de los estudios y documentos revisados, para cada uno de los cuales se indica si tienen antecedentes relevantes para el presente estudio, y de qué tipo, y si incorporan muestreos en suelo.

Tabla 18. Resumen de los estudios y documentos revisados

Nº	Nombre Proyecto	Autor	Mandante	Fecha	¿Relevancia para este estudio?	Antecedentes relevantes que incorpora	¿Antecedentes de muestreo en suelos?
1	Estudio integral de riego del valle de Huasco.	CEDEC	Comisión Nacional de Riego	1985	NO	<p>Incluye descripción del valle del Huasco, enfocado a los sectores de riesgo al año 1985.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Incluye descripción de suelos, basadas en SERPLAC - CICA/Hidroconsult (1980)</li> <li>– “Estudio agrológico del Valle del río Huasco”. Resultados de ese estudio previo se presentan con mayor detalle en estudio Comisión Nacional de Riesgo/CICA (2002)</li> </ul>	NO
2	Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca del río Huasco.	CADE-IDEPE	Dirección General de Aguas	Diciembre 2004	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entrega información de caracterización de la cuenca y de algunas componentes ambientales del Valle de Huasco.</li> <li>– Proporciona antecedentes de la calidad del agua, que podría relacionarse con la contaminación de otros componentes.</li> </ul>	NO
3	Mapa Geológico del Cuadrángulo Huasco, Región de Atacama, escala 1:50.000	Arévalo C., Welkner D.	Servicio Nacional de Geología y Minería	2004	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aporta el marco geológico regional de la zona de estudio</li> </ul>	NO

## Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nº	Nombre Proyecto	Autor	Mandante	Fecha	¿Relevancia para este estudio?	Antecedentes relevantes que incorpora	¿Antecedentes de muestreo en suelos?
4	Geología del Area Vallenar-Domeyko, Región de Atacama, escala 1:100.000	Arévalo C., Mourgues F., Chavez R.	Servicio Nacional de Geología y Minería	2009	Si	– Aporta el marco geológico regional de la zona de estudio	NO
5	Geología del Area Carrizal Bajo – Chacritas, Región de Atacama, escala 1:100.000	Arévalo C., Welkner D.	Servicio Nacional de Geología y Minería	2008	Si	– Aporta el marco geológico regional de la zona de estudio	NO
6	Geología del Area Freirina-El Morado, Region de Atacama, escala 1:100.000		Servicio Nacional de Geología y Minería	2006	Si	– Aporta el marco geológico regional de la zona de estudio	NO
7	Estudio para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco.	DICTUC S.A y Facultad de Agronomía, PUC	SEREMI de Agricultura, región de Atacama	Junio 2012	SI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entrega información de las principales fuentes de la comuna</li> <li>– Entrega información de monitoreo ambiental de la calidad del aire y MPS de la comuna</li> <li>– Entrega información del análisis de la composición química del PM<sub>2,5</sub></li> <li>– Información del análisis de suelo</li> </ul>	NO
8	Estudio para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica, II Temporada, y Prospección de las Condiciones Edáficas sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco	DICTUC S.A	Gobierno regional de Atacama	Septiembre 2013	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entrega información de monitoreo ambiental de la calidad del aire y MPS de la comuna</li> <li>– Entrega información del análisis de la composición química del PM<sub>2,5</sub></li> </ul>	NO
9	Documento PRAS Huasco	Fundación Chile	Ministerio del Medio Ambiente	2017	SI	– Contiene una caracterización ambiental y social general en distintos ámbitos al año 2017 (Aire, Agua, Mar, Suelo, Paisaje y Biodiversidad, Sociedad, Salud,	NO

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nº	Nombre Proyecto	Autor	Mandante	Fecha	¿Relevancia para este estudio?	Antecedentes relevantes que incorpora	¿Antecedentes de muestreo en suelos?
						<p>Infraestructura).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– En el caso del suelo, no se detallan resultados de calidad, pero se presenta un análisis general efectuado en base a algunos datos existentes, los que son insuficientes para establecer un diagnóstico. Los resultados preliminares indican que algunas concentraciones son potencialmente elevadas (elementos As, B, Cu, Cr, Mn y Zn) en base a su comparación con valores de referencia internacionales para usos específicos (residencial, agrícola, industrial)</li> </ul>	
10	Estudio y propuestas de recuperación de suelos con mal drenaje en el sector bajo del Huasco	CICA Ingenieros Consultores	Comisión Nacional de Riego	Agosto 2012	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Incluye muchos y variados antecedentes sobre el área de estudio, incluyendo, hidrografía, clima, agroclima, infraestructura hidráulica, canales de riego, calidad de aguas, suelo, aspectos poblacionales y sociales, económicos, flora y vegetación, entre otros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Si, se efectuó el análisis de suelos en 6 calicatas, en cada una de las cuales se tomaron muestras a distinta profundidad, analizándose en total 24 muestras</li> <li>– Presenta datos de estudios anteriores, en los que se analizó calidad de suelo, como Serplac - CICA/Hidroconsult, (1980), Estudio</li> </ul>

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nº	Nombre Proyecto	Autor	Mandante	Fecha	¿Relevancia para este estudio?	Antecedentes relevantes que incorpora	¿Antecedentes de muestreo en suelos?
							agrológico del Valle del río Huasco, y análisis efectuados en el contexto de una Tesis de Grado.
11	Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación.	CENMA	Ministerio del Medio Ambiente	Agosto 2017	SI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caracterización del territorio respecto a geografía, topografía, meteorología, emisiones atmosféricas, características sociales y conflictos socioambientales</li> <li>– Información respecto a fuentes</li> <li>– Levantamiento de información existente a la fecha respecto a polvo en suelo, aire, agua, sedimentos, biota, plantaciones agrícolas</li> <li>– Muestreo y análisis de matrices ambientales (suelo superficial, suelo background, sedimento, agua superficial, biota, polvo depositado, material particulado sedimentable (MPS))</li> </ul>	Si, se tomaron 51 muestras de suelo superficial y 41 muestras de suelo de tipo background
12	Caracterización de polvo negro en la comuna de Huasco, III Región	Tamara Ivana Ortiz Poblete	Universidad de Chile (Seminario de título para optar al título de Químico Ambiental)	2018	SI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Incluye los mismos datos del estudio MMA/CENMA (2017)</li> <li>– Entrega mayores detalles respecto a los métodos analíticos empleados</li> </ul>	Sí, pero son los mismos datos del estudio MMA/CENMA (2017)

## 9.2.2 EVALUAR LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE Y SISTEMATIZARLA

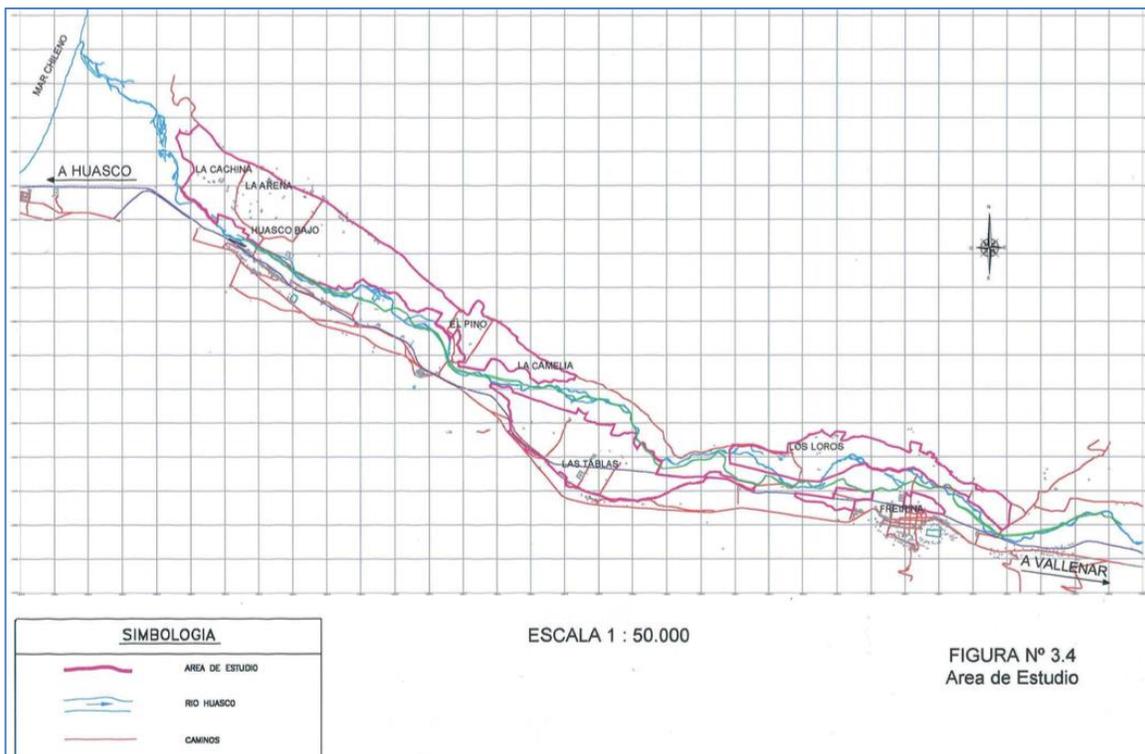
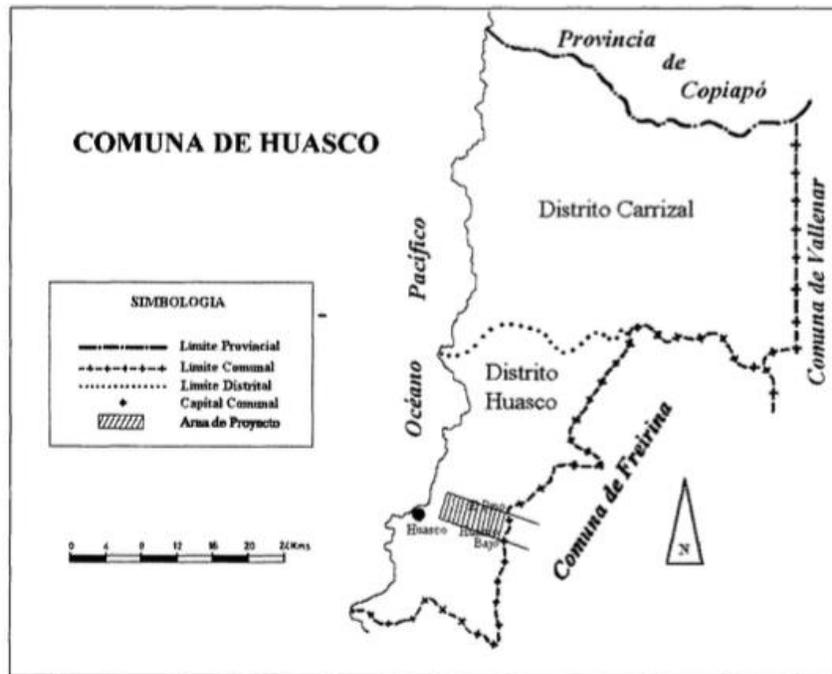
A continuación, se presenta una descripción más profunda y una evaluación de aquellos estudios e investigaciones indicados en la tabla anterior que entregan antecedentes sobre muestreos y análisis de calidad de suelo.

### 9.2.2.1 Comisión Nacional de Riego (CNR)/CICA (2002). Estudio y propuestas de recuperación de suelos con mal drenaje en el sector bajo del Huasco

Corresponde a un estudio licitado por la Comisión Nacional de Riego, orientado a investigar la cuarta sección del río Huasco que en ese entonces presentaba un área potencial de riego de aproximadamente 800 ha, con problemas de mal drenaje y exceso de sales solubles en el perfil de suelo, lo que había restringido considerablemente las opciones de producción con buena rentabilidad de las explotaciones. En base a lo anterior el objetivo general del estudio fue el de *“contribuir al desarrollo agrícola del Valle del Huasco y, por lo tanto, al desarrollo económico local, mediante la habilitación de los suelos mal drenados y la incorporación a la producción de un área actualmente marginada...”*. Para lograr lo anterior, se efectuó la recopilación y análisis de antecedentes existentes, y la realización de un diagnóstico de la situación, lo que incluyó, entre otros aspectos, la descripción de las características del suelo del área de estudio y la realización de un estudio de suelos, el que incorporó la realización de calicatas y análisis de suelos. Dichos antecedentes se resumen a continuación.

El área de estudio es la del sector bajo del valle del Huasco, desde Freirina hacia la costa, con una superficie total de 8 km<sup>2</sup>, equivalente a un 0,15% de las comunas de Huasco y Freirina. Específicamente, el área de estudio constituye una franja de tierra que va desde Freirina a la costa con un largo máximo de alrededor de 15 km y un ancho promedio de 1 km. Esta superficie se enmarca dentro del sector más bajo del valle del río Huasco, aguas abajo de Vallenar, el que presenta extensas terrazas de origen fluvial ubicadas en ambos márgenes del río, además de caracterizarse por extensas zonas desérticas a ambos lados del valle (ver Figura 19).

Figura 19. Área de proyecto - estudio CNR/CICA (2002).



Fuente: Estudio CNR/CICA (2002)

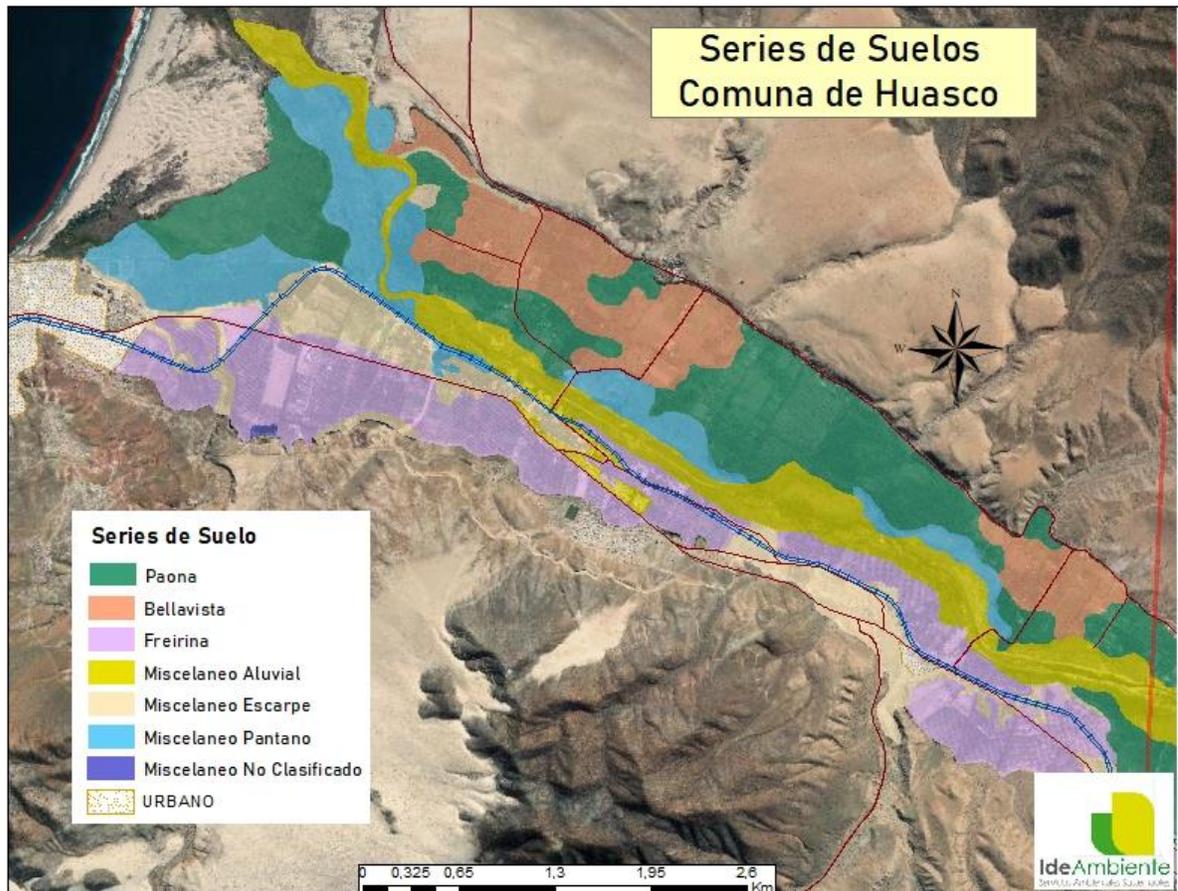
En el estudio se efectúa una descripción sobre los tipos de suelo de la zona, antecedentes que fueron extraídos del Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco, de Serplac-CICA/Hidroconsult (1980), usándose la misma clasificación taxonómica. Se indica que los suelos del área de estudio son de la orden de taxonomía de suelos Entisol, correspondientes a *“suelos de desarrollo muy limitado, que provienen de depósitos aluviales recientes, o son suelos muy delgados sobre roca, o suelos delgados en pendientes fuertes, o dunas estabilizadas con escasa acumulación de materia orgánica (Casanova M, Vera, Luzio W, Salazar O, 2004)”*. Además se clasificaron las series de suelo, correspondientes a una clase específica de suelo con un conjunto único de características físicas, químicas y mineralógicas, y por lo tanto, a la categoría más homogénea en taxonomía de suelos. Las series identificadas en el área en estudio fueron:

- Bellavista (BVT)
- Freirina (FRN)
- Paona (PNA)
- Tatara (TTR)

Además, se identificaron las series, Misceláneo Pantano (MPT), Misceláneo Aluvial (MAL), y Misceláneo Escarpe (MEP), y se asignó otra categoría a los suelos ubicados en las laderas de los cerros no descritos hasta ese entonces. Se menciona también que cada serie presenta diferentes fases o variaciones, por ejemplo, la serie Bellavista, tiene 3 fases o variaciones en el área de estudio. La descripción de las series se incluye en el Anexo 3.4.1 del estudio y se presenta un resumen de cada una de ellas a continuación.

En la figura siguiente se presentan las series de suelo identificadas en la zona de estudio:

Figura 20. Serie de Suelos de la comuna de Huasco



Fuente: Elaboración propia en base a Estudio Integral de Riego del Valle de Huasco, Comisión Nacional de Riego, 1985.

A continuación, se presenta una descripción de cada serie:

**a. SERIE BELLAVISTA, franco a franco arenosa muy fina. Símbolo Cartográfico: BVT - D2W3**

Son suelos sedimentarios, estratificados, de origen aluvial, de textura franco arenosa muy fina de color pardo oscuro en el tono 10 YR y texturas franco arcillo limosa de color grisáceo oscuro en el tono 10 YR en profundidad. Descansa sobre un substratum constituido por estratas de arena media, gruesa y arena francosa todas muy ricas en mica. Presenta oxidaciones y moteados a partir de los 55 cm. que aumentan en profundidad y nivel freático entre los 90- 130 cm. de profundidad. Suelo plano, en posición de terraza aluvial reciente de río Huasco. Presenta permeabilidad moderada y drenaje imperfecto y salinidad moderada.

### **a.1 Características Físicas y Morfológicas del Pedón**

Se describen las características para las profundidades en cm: 0-40, 40-55 y 55-82.

### **a.2 Rango de Variación**

La profundidad varía entre 55 y 100 cm. el substratum constituido por estratas de texturas arenosas. El drenaje varía de moderado a imperfecto y no presenta pedregosidad.

### **a.3 Series Similares**

Presenta similitud con la Serie Paona ya que corresponden al mismo Orden y Subgrupo; sin embargo, esta Serie presenta diferencias de textura y salinidad.

### **a.4 Posición**

Ocupa una posición de terraza aluvial reciente del río Huasco y de topografía plana.

### **a.5 Drenaje, Permeabilidad y Esguerrimiento Superficial**

De drenaje imperfecto, permeabilidad moderada y esguerrimiento superficial moderado.

### **a.6 Uso**

Su uso principal es de plantaciones de olivo y parcialmente de membrillo y perales.

### **a.7 Aptitud Frutal**

Con severas limitaciones (D), pero buena aptitud para olivos y membrillos especies tolerantes a la salinidad y aptos para clima costero.

### **a.8 Variaciones de la Serie (descrias con más detalle en estudio)**

BVT-D2<sub>w3</sub>

BVT-D3<sub>w3</sub>

BVT-VarD2<sub>w3</sub>

Tabla 19. Propiedades serie de suelo Bellavista

PROFUNDIDAD (cm)	0-40	55-82			
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO (%)					
>2 mm					
2 - 1 mm	0,0	0,0			
1 - 0,5 mm	0,1	0,3			
0,5 - 0,25 mm	0,5	1,2			
0,25 - 0,10 mm	12,4	8,6			
0,10 - 0,05 mm	33,4	19,6			
2 - 0,05 mm	46,4	29,7			
0,05 - 0,002 mm	31,0	48,8			
<0,002 mm	22,0	21,5			
TEXTURA					
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	1,4	1,3			
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. (%)	23,0	31,8			
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. (%)	16,5	21,3			
HUMEDAD RETENIDA 2 atm. (%)	12,1	17,6			
HUMEDAD APROVECHABLE (%)	10,9	13,2			
CARBONO ORGÁNICO (%)	0,9	0,8			
MATERIA ORGÁNICA (%)	1,6	1,4			
ÓXIDOS LIBRES DE Fe (%)					
pH H <sub>2</sub> O	8,0	7,9			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m. a 25°C)	8,1	7,1			
CaCO <sub>3</sub>	3,5	5,3			
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg.)					
Ca (meq/100g)					
Mg (meq/100g)					
K (meq/100g)	0,5	0,4			
Na (meq/100g)	1,1	2,2			
SUMA DE BASES					
H + Al					
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO	13,5	17,7			
SATURACIÓN DE BASES (%)					
SATURACIÓN DE Na (%)	8,2	12,4			

Fuente: Serplac – CICA/Hidroconsult, 1980. Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco

b. **SERIE FREIRINA, franco arenosa.** Símbolo Cartográfico: **FRN -E3**

Son suelos sedimentarios, estratificados, de origen aluvio-coluvial, moderadamente profundo sin desarrollo genético del perfil. Presenta textura franco arenosa de color pardo oscuro en el tono 10 YR en la superficie y texturas franco arenoso de color pardo amarillento en el tono 10 YR en profundidad. Descansa sobre un substratum aluvio-coluvial con matriz de arena media, fina y gruesa. Suelo de topografía plana, suavemente inclinado, de permeabilidad rápida y de buen drenaje; con salinidad moderada a alta.

### **b.1 Características Físicas y Morfológicas del Pedón**

Se describen las características para las profundidades en cm: 0-15 y 15-65.

### **b.2 Rango de Variación**

La profundidad efectiva varía entre 35 y 65 cm, topografía plana, suavemente inclinada, pendientes complejas de más de 15%. La pedregosidad desde muy ligera hasta abundante, especialmente en las unidades de mayor pendiente.

### **b.3 Series Similares**

Presenta similitud con la Serie Tatara; se diferencia en el contenido salino ya que Freirina presenta salinidad moderada a alta.

### **b.4 Posición**

Ocupa una posición de plano inclinado (aluvio-coluvial).

### **b.5 Drenaje, Permeabilidad y Esguerrimiento Superficial**

Drenaje excesivo, permeabilidad rápida y esguerrimiento superficial muy lento.

### **b.6 Uso**

Su principal uso es en base a plantaciones de olivos.

### **Variaciones de la Serie (descritas con más detalle en estudio)**

- FNR-E4 <sub>p2</sub>  
DK
- FNR-E4 <sub>p2</sub>  
CK
- FNR-E4 <sub>p1</sub>  
AK
- FNR-E4 <sub>p1</sub>  
B1K
- FNR-E4 <sub>p2</sub>  
B2K

Tabla 20. Propiedades serie de suelo Freirina

PROFUNDIDAD (cm)	0-15	15-65			
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO (%)					
>2 mm					
2 - 1 mm	3,6	2,9			
1 - 0,5 mm	6,9	8,6			
0,5 - 0,25 mm	9,9	13,8			
0,25 - 0,10 mm	19,2	24,1			
0,10 - 0,05 mm	28,5	21,4			
2 - 0,05 mm	68,1	70,8			
0,05 - 0,002 mm	26,8	25,4			
<0,002 mm	5,1	3,3			
TEXTURA					
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	1,3	1,8			
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. (%)	14,2	10,7			
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. (%)	9,4	6,1			
HUMEDAD RETENIDA 2 atm. (%)	6,8	3,9			
HUMEDAD APROVECHABLE (%)	7,4	6,8			
CARBONO ORGÁNICO (%)	2,1	0,4			
MATERIA ORGÁNICA (%)	3,6	0,7			
ÓXIDOS LIBRES DE Fe (%)					
pH H <sub>2</sub> O	8,2	8,3			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m. a 25°C)	5,3	16,6			
CaCO <sub>3</sub>	2,2	0,2			
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg.)					
Ca (meq/100g)					
Mg (meq/100g)					
K (meq/100g)	0,6	0,8			
Na (meq/100g)					
SUMA DE BASES					
H + Al					
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO	10,5	6,4			
SATURACIÓN DE BASES (%)					
SATURACIÓN DE Na (%)	5,7	12,5			

Fuente: Serplac – CICA/Hidroconsult, 1980. Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco

**c. SERIE PAONA, franco arenosa fina. Símbolo Cartográfico: PNA-D2 W3**

Son suelos sedimentarios, estratificados, profundos, de textura franco arenosa fina de color pardo grisáceo oscuro en la superficie en el tono 10YR y texturas moderadamente gruesas y gruesas de color pardo grisáceo en el tono 10 YR en profundidad. Descansa sobre un substratum aluvial constituido por gravas redondeadas con matriz de arena media. Presenta manchas salinas a partir de los 30 cm. y restos de materia orgánica. Cristales de mica muy abundante en todo el perfil. Suelo de topografía plana, de

permeabilidad moderada y de drenaje impermeable, con nivel freático entre los 80 - 100 cm. de profundidad, con salinidad alta.

### **c.1 Características Físicas y Morfológicas del Pedón**

Se describen las características para las profundidades en cm: 0-23, 23-45, 45-77 y 77-100.

### **c.2 Rango de Variación**

La profundidad efectiva varía entre 35 y 80 cm. descansa sobre un substratum constituido por estratas arenosas de diferente granulometría. El drenaje varía de moderado a pobre y no presenta pedregosidad superficial ni en el perfil.

### **c.3 Series Similares**

Presenta similitud con la Serie Bellavista; se diferencia de ésta por presentar texturas más gruesas y un mayor contenido salino.

### **c.4 Posición**

Ocupa una posición de terraza aluvial baja, marginal al río Huasco.

### **c.5 Drenaje, Permeabilidad y Escurrimiento Superficial**

Presenta drenaje imperfecto, permeabilidad moderadamente rápida y escurrimiento superficial lento.

### **c.6 Uso**

Su uso actual es fundamentalmente a base de plantaciones de olivo y membrillo, ocasionalmente chacras.

### **c.7 Variaciones de la Serie (descritas con más detalle en estudio)**

- PNA-D2<sub>w3</sub>
- PNA-D2<sub>w4</sub>
- PNA-D3<sub>w2</sub>
- PNA-D3<sub>w3</sub>
- PNA-E3<sub>w3P1</sub>
- PNA-E3<sub>w4</sub>
- PNA-F3<sub>w2</sub>
- PNA-VarD3<sub>w1S</sub>
-

Tabla 21. Propiedades serie de suelo Paona

PROFUNDIDAD (cm)	0-23	23-45	45-77	77-100
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO (%)				
>2 mm				
2 - 1 mm	0,1	0,4	0,3	0,1
1 - 0,5 mm	1,8	4,9	3,5	0,4
0,5 - 0,25 mm	7,7	19,9	14,8	3,0
0,25 - 0,10 mm	21,1	33,6	33,7	23,5
0,10 - 0,05 mm	20,0	19,6	22,3	38,4
2 - 0,05 mm	50,7	77,5	74,6	65,4
0,05 - 0,002 mm	32,4	16,1	18,8	28,8
<0,002 mm	16,9	6,4	6,6	5,8
TEXTURA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	1,4	1,5	1,6	1,5
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. (%)	22,9	14,4	14,2	16,2
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. (%)	14,9	8,3	8,3	9,7
HUMEDAD RETENIDA 2 atm. (%)	9,9	5,3	5,8	6,6
HUMEDAD APROVECHABLE (%)	12,0	9,1	8,4	9,6
CARBONO ORGÁNICO (%)	0,9	9,1	8,4	9,6
MATERIA ORGÁNICA (%)	1,6	0,7	0,5	0,2
ÓXIDOS LIBRES DE Fe (%)				
pH H <sub>2</sub> O	8,2	8,1	8,2	8,2
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m. a 25°C)	16,6	9,2	8,2	7,4
CaCO <sub>3</sub>	4,7	3,9	4,8	5,4
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg.)				
Ca (meq/100g)				
Mg (meq/100g)				
K (meq/100g)	0,7	0,1	0,1	0,2
Na (meq/100g)	2,4	1,0	1,1	1,5
SUMA DE BASES				
H + Al				
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO	13,0	8,9	7,9	8,9
SATURACIÓN DE BASES (%)				
SATURACIÓN DE Na (%)	18,5	11,2	13,9	16,8

Fuente: Serplac – CICA/Hidroconsult, 1980. Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco

d. **SERIE TATARA, franco arenosa.** Símbolo Cartográfico: **TTR-E4**

Son suelos sedimentarios, delgados, de origen aluvio-coluvial, textura franco arenosa de color pardo oscuro en el tono 7.5 YR y descansa sobre un substratum constituido por clastos redondeados de composición petrográfica mixta con predominio de rocas eruptivas ácidas y neutras (granito y andesita). Este substratum presenta una matriz franco arenosa de color pardo rojizo oscuro en el tono 5 YR y que constituye entre el 10% al 20% del volumen del horizonte. Suelo de permeabilidad moderadamente rápida y de buen drenaje. Presenta una topografía plana en posición de terraza aluvial intermedia.

#### **d.1 Características Físicas y Morfológicas del Pedón**

Se describen las características para las profundidades en cm: 0-22.

#### **d.2 Rango de Variación**

La profundidad efectiva del suelo varía entre 15 y 50 cm. Aunque el arraigamiento es mayor debido al substratum "sucio". La pedregosidad superficial y del perfil varía desde libre en ella hasta un 40%.

#### **d.3 Series Similares**

Presenta similitud con la Serie Freirina. A diferencia de esta no presenta salinidad, ambas pertenecen al mismo Orden y Subgrupo.

#### **d.4 Posición**

Ocupa una posición de terraza aluvial intermedia y plana.

#### **d.5 Drenaje, Permeabilidad y Esguerrimiento Superficial**

Bueno, moderadamente rápida y esguerrimiento superficial lento.

#### **d.6 Uso**

Su principal uso es alfalfa, trigo, chacras (maíz, porotos, tomates, ajés, morrones) y viñas y damascos.

#### **d.7 Variaciones de la Serie (descritas con más detalle en estudio)**

- TTR-E3
- TTR-E4 <sub>P2</sub>  
AK
- TTR-E4 <sub>P2</sub>  
B2K
- TTR-E4

Tabla 22. Propiedades serie de suelo Tatara

PROFUNDIDAD (cm)	0-22			
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO (%)				
>2 mm				
2 - 1 mm	1,2			
1 - 0,5 mm	4,3			
0,5 - 0,25 mm	7,8			
0,25 - 0,10 mm	25,9			
0,10 - 0,05 mm	19,3			
2 - 0,05 mm	60,5			
0,05 - 0,002 mm	29,5			
<0,002 mm	10,0			
TEXTURA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	1,48			
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. (%)	17,3			
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. (%)	9,4			
HUMEDAD RETENIDA 2 atm. (%)	6,9			
HUMEDAD APROVECHABLE (%)	10,4			
CARBONO ORGÁNICO (%)	1,1			
MATERIA ORGÁNICA (%)	1,9			
pH H <sub>2</sub> O 1:1	8,2			
pH KCl 1:1				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m. a 25°C)	1,1			
CaCO <sub>3</sub>	1,7			
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol <sup>+</sup> /kg.)	1,7			
Ca (meq/100g)	n.d.			
Mg (meq/100g)	n.d.			
K (meq/100g)	0,4			
Na (meq/100g)	0,4			
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO	11,3			
SATURACIÓN DE Na (%)	3,5			

Fuente: Serplac – CICA/Hidroconsult, 1980. Estudio Agrológico del Valle del Río Huasco

En cuanto a las agrupaciones de suelo, se indica que en el valle del río Huasco se caracterizan doce series, el área que abarca el estudio sólo incluye cuatro de ellas, Bellavista, Freirina, Paona y Tatara. Éstas, según la posición fisiográfica que ocupan y otras características anexas, dan origen a las siguientes agrupaciones de suelo.

### **A. Suelos aluviales recientes en terrazas de posición baja**

Corresponden a suelos que se encuentran en los márgenes de los ríos, no presentan desarrollo del perfil, son estratificados; de texturas medias a gruesas y puede observarse diversos grados de pedregosidad en la superficie y el perfil. Presentan topografía plana.

Pertenecen a este grupo los suelos de las series Paona, Bellavista y Huasco. Los de las series Paona y Bellavista presentan problemas de drenaje y salinidad y se ubican en la parte baja del valle.

### **B. Suelos de terrazas de posición alta**

Son suelos de poca evolución, ocupan una posición intermedia, son de texturas gruesas y descansan sobre un substratum abierto formado por ripio con matriz arenosa, de buena permeabilidad y drenaje, de topografía plana, son suelos pertenecientes a la serie Tatara.

### **C. Suelos de Piedmont**

En la parte baja del valle está la serie Freirina que se presenta desde la localidad del mismo nombre hasta la costa. Es un suelo pedregoso, de texturas gruesas y descansa sobre un substratum aluviocoluvial.

En cuanto al drenaje y salinidad de los suelos se indica que el sector afectado por la presencia de sales se ubica, preferentemente, desde el oriente de la localidad de Freirina hasta su límite poniente, próximo al área costera. La conductividad eléctrica, como un indicador de la salinidad, varía entre 3,2 y 5,7 mmhos/cm a 25°C<sup>8</sup>, rango de valores que indica que los perfiles de suelo del área de interés, son ligeramente salinos a salinos. Los suelos presentan pH entre 8,0 y 8,6, lo que indica de "moderadamente a fuertemente alcalinos" concordante con los altos valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y con el alto contenido de sodio, siendo en los suelos mayor que el contenido de calcio. Sin embargo, los altos valores de RAS, no permite indicar que los suelos sean sódicos, aun cuando existe la posibilidad de sodificación. Además de lo señalado, se han encontrado zonas con conductividades eléctricas de 8,8 mmhos/cm en el sector de la Cachina, ubicado en el límite oeste de la zona olivarera del Huasco, e incluso sobrepasan el valor señalado,

---

<sup>8</sup> La unidad de medición de conductividad eléctrica milimhos/cm (mmhos/cm) es equivalente a la unidad dS/m, y a la unidad mS/cm.

por lo que los suelos se pueden considerar "muy salinos". El ion cloruro, de reconocido peligro por su fitotoxicidad, presenta valores altos, constituyéndose en un elemento negativo para los cultivos. Respecto a las series de suelo se indica:

- La serie de suelos Freirina, en posición de terraza alta en el margen sur del río Huasco, en general, presenta un moderado tenor salino y sin problemas de drenaje, gracias a su posición en el paisaje (5 a 7 mmhos/cm).
- La serie Bellavista, ocupando una posición de terraza baja, de preferencia en el lado norte del río, tiene un drenaje imperfecto a moderado y un grado de salinidad moderado (4 a 8 mmhos/cm).
- La serie de suelos Paona, en posición de terraza baja y con problemas de drenaje moderado a muy pobre, presenta salinidad desde ligera a severa. La salinidad de los suelos aumenta paralelamente con el problema de drenaje. En esta unidad se aprecian sectores que tienen una conductividad eléctrica en el rango de 5 a 16 mmhos/cm a 25°C.

En cuanto al estudio de suelos efectuado, se indica que este tuvo como objetivo hacer un reconocimiento en terreno de las principales series y fases de suelos con drenaje restringido. Para ello se realizaron calicatas en sectores seleccionados. El muestreo de los suelos y la descripción de calicatas se llevó a cabo a fines de Noviembre del 2001, tomando muestras por horizonte en una calicata hasta una profundidad de 1,2 m, cuando no se encontró impedimento físico o presencia de nivel freático. En total se realizaron 6 calicatas, obteniendo 24 muestras de suelos. En la Tabla siguiente se presenta la ubicación y características generales de los predios donde se realizaron las calicatas.

**Tabla 23. Ubicación y Características Generales de Predios Muestreados - estudio CNR/CICA (2002).**

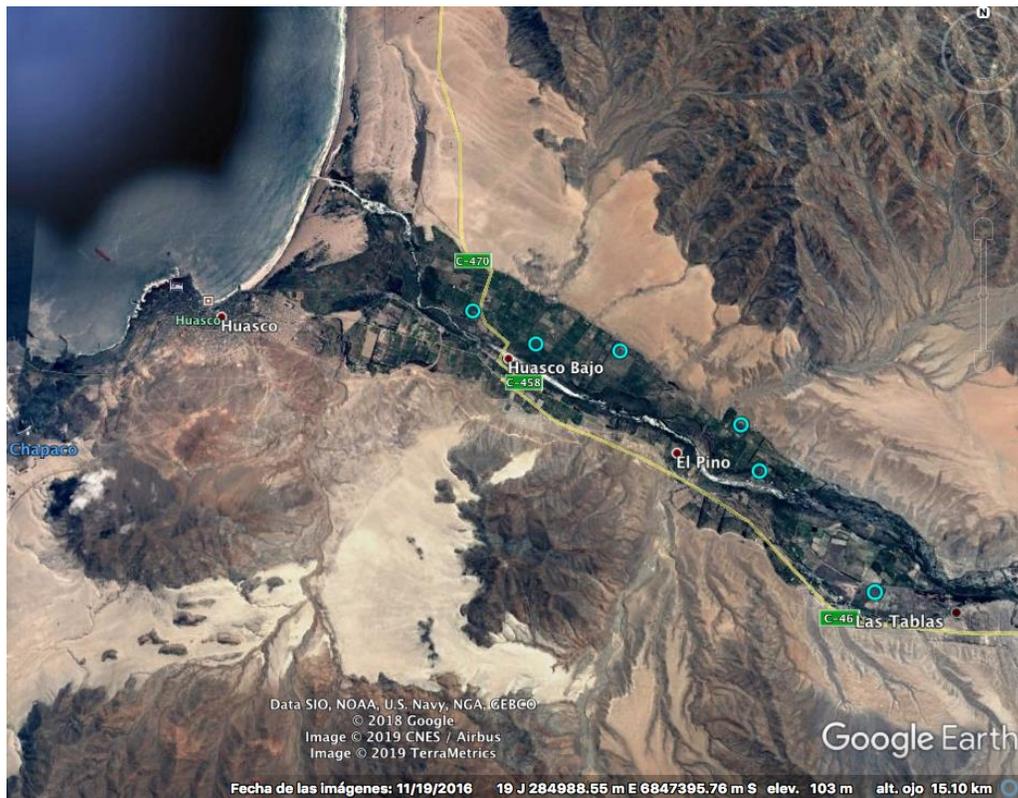
Serie	Fase	Ubicación UTM (m)		Rol SII	Localidad	Cultivo	Pendiente	Profundidad calicata (cm)	Nº de muestras
		Latitud N	Longitud E						
Bellavista	BVT-D2 W3	6.847.957,01	290.370,20	143-14	El Pino	Olivo	0-1%	100	4
Paona	PNA-D2W3	6.849.016,11	288.690,45	143-10	Fundo Montt	Olivo	0-1%	120	5
	PNA-D3W2	6.849.588,40	286.570,76	141-9	Huasco Bajo	Maíz	0-1%	100	6
	PNA-Var.D3 W1S	6.845.645,21	292.040,64	106-8	Las Tablas	Olivo	0-1%	125	7
Misceláneo	MAL	6.847.294,68	290.582,06	Ninguno	La Camelia	Ninguno	0-1%	40	1

Serie	Fase	Ubicación UTM (m)		Rol SII	Localidad	Cultivo	Pendiente	Profundidad	Nº de
Aluvial									
Misceláneo Pantano	MPT	6.849.105,28	287.479,89	143-19	Huasco Bajo	Ninguno	0-2%	30	1

Fuente: Elaboración propia en base a estudio CNR/CICA 2002

En la figura siguiente se presenta la ubicación de las 6 calicatas efectuadas y analizadas en el estudio CNR/CICA (2002).

Figura 21. Localización de calicatas estudio CNR/CICA (2002)



Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio CNR/CICA 2002

La descripción de las 6 calicatas fue orientada a reconocer los factores limitantes para la adaptación de cultivos, motivo por el cual no se describieron aspectos como color y consistencia entre otros. Se describieron las 6 calicatas efectuadas, y luego, a las 24 muestras tomadas en las calicatas se les realizó los siguientes análisis:

- pH en agua usando una relación 1:2,5
- Conductividad Eléctrica en el extracto de saturación
- Cationes solubles: Ca, Mg, Na, K

- Aniones solubles: Cl, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>

Los análisis fueron efectuados por el laboratorio CIMM y los reportes originales se presentan en Anexo 3.4.3. del mismo estudio. A partir de los datos obtenidos se calculó la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), y se determinó la clasificación del tipo de suelo en cuanto a salinidad, antecedentes que se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 24. Resultados análisis calicatas - estudio CNR/CICA (2002).

Serie	Fase	Profund. Horizonte (cm)	pH	CE (dS/m)	RAS	PSI%	Tipo de suelo
Paona	PNA-D3W2	0-20	6,94	6,30	9,21	10,97	Salino
		20-40	6,80	7,00	5,28	6,13	Salino
		40-54	7,41	4,90	7,07	8,39	Salino
		54-75	7,11	6,40	7,21	8,58	Salino
		75-82	7,22	1,80	5,12	5,91	Normal
		82-100	7,37	1,60	5,70	6,67	Normal
Paona	PNA-D2W3	0-20	6,95	2,80	4,32	4,86	Normal
		20-45	7,63	1,20	6,19	7,29	Normal
		45-65	7,19	2,00	6,93	8,23	Normal
		65-81	6,45	3,90	5,43	6,32	Normal
		81-120	7,00	2,80	3,57	3,85	Normal
Paona	PNA-Var.D3 W1S	0-19	8,15	14,00	23,52	25,05	Salino Sódico
		19-36	7,94	3,90	4,59	5,22	Normal
		36-58	7,75	5,00	6,73	7,98	Salino
		58-78	7,64	4,90	9,41	11,21	Salino
		78-98	7,69	6,30	10,54	12,5	Salino
		98-118	7,89	9,80	16,23	18,48	Salino Sódico
		118-125	7,95	2,80	15,71	17,97	Sódico
Bellavista	BVT-D2 W3	0-15	7,09	0,82	3,34	3,54	Normal
		15-26	0,26	0,89	3,36	3,57	Normal
		26-46	6,75	0,66	3,14	3,27	Normal
		46-100	7,43	0,76	3,38	3,59	Normal
Misceláneo Aluvial	MAL	0-25	7,94	0,84	2,92	2,95	Normal
Misceláneo Pantano	MPT	0-25	7,63	4,20	6,27	7,4	Salino

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio CNR/CICA 2002

En cuanto a los resultados de cationes y aniones, se indica:

- **Macrocationes:** en la mayoría de los suelos el catión dominante es el sodio, seguido por el calcio, en tercer lugar se ubica el magnesio y finalmente el potasio. Los cationes divalentes tienen la tendencia a estructurar los suelos mientras que el sodio ejerce el efecto contrario, es decir, es dispersante de las partículas de suelo.
- **Macroaniones:** entre los aniones el sulfato es dominante en la mayoría de los suelos, exceptuando la Fase PNA- VarD3 WIS de la Serie Paona en la que predominan los cloruros, tanto en superficie como en los horizontes inferiores, bajo el nivel freático. En general, la concentración de bicarbonatos es baja, aumentando notablemente en la parte superficial de la Serie Bellavista (BVT-D2W3). Los nitratos presentan niveles muy bajos en todas las muestras, encontrándolos en un rango que no supera el 4,3% de los aniones solubles.

En el estudio, además, se presentan los resultados de un muestreo efectuado en calicatas como parte de la Tesis de Grado en publicación "Prospección Nutricional de Olivos Sevillano en el Valle del Huasco" (Alemany, R, 2001). En esta Tesis se realizaron 30 calicatas durante el mes de junio de 1998, y distribuidas en la zona olivarera del valle de Huasco, esto involucró tanto suelos de buen drenaje como de drenaje restringido. En este estudio, se describieron aspectos generales de los suelos, como textura, clase de drenaje, entre otros, y se efectuó una caracterización de los aspectos nutricionales del suelo, obteniendo muestras compuestas a una profundidad de 15 a 35 cm, zona en que normalmente se encontró una mayor densidad de raíces. Los elementos analizados fueron Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Cinc, Manganeso y Boro disponible; Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio intercambiable. Además, se midió la conductividad eléctrica en el extracto de saturación, el pH en agua, usando una relación de 1:2,5 (suelo/agua), y la materia orgánica por el método de oxidación por vía húmeda de Walkley-Black. Un resumen con parte de los resultados de este trabajo se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 25. Ubicación y parte de resultados de análisis de calicatas estudiadas en Tesis de Grado incluida en estudio CNR/CICA (2002).

Nº sitio / calicata	Coordenadas		Comuna	Localidad	Profundidad calicata cm	Serie Suelo	M.O %	pH	CE dS/m	N disp ppm	P disp ppm	K disp ppm
	Latitud (S)	Longitud (O)										
1	28° 30,68'	71°04,16'	Freirina	Los Guindos	0,92	Tatara	1,09	8,70	1,43	22	2	144
2	28° 27,82'	71° 10,95'	Huasco	La Cachina	1,00	Bellavista	1,54	8,63	2,17	21	8	96

Nº sitio / calicata	Coordenadas		Comuna	Localidad	Profundidad calicata	Serie Suelo	M.O	pH	CE	N disp	P disp	K disp
	Latitud (S)	Longitud (O)			cm		%		dS/m	ppm	ppm	ppm
3	28° 28,13'	71°11,35'	Huasco	Huasco Bajo	0,96	Freirina	0,97	8,60	1,29	30	1	88
4	28° 28,12'	71° 10,61'	Huasco	La Cachina	0,94	Bellavista	2,04	7,99	3,91	45	11	230
5	28° 27,90'	71°10,85'	Huasco	La Cachina	1,00	Paona	0,66	8,67	2,15	41	1	106
6	28° 29,09'	71° 09,20'	Huasco	El Pino	0,93	Freirina	1,35	8,31	1,16	18	2	67
7	28° 30,01'	71°07,43'	Freirina	Las Tablas	1,15	Paona	1,04	8,08	4,92	19	1	74
8	28° 29,83'	71°07,63'	Freirina	Las Tablas	1,06	Paona	1,38	8,35	2,00	24	1	84
9	28° 30,04'	71°07,62'	Freirina	Las Tablas	1,00	Paona	0,39	7,95	3,62	19	5	92
10	28° 28,87'	71° 08,75'	Huasco	La Camelia	1,06	Paona	1,42	8,55	1,22	22	6	167
11	28° 28,98'	71°08,91'	Huasco	El Pino	1,05	Bellavista	2,45	7,85	4,31	27	14	263
12	28° 27,72'	71°10,84'	Huasco	La Cachina	1,00	Bellavista	1,66	8,23	7,04	25	4	143
13	28° 27,87'	71°10,36'	Huasco	La Arena	1,10	Paona	1,35	8,05	2,98	18	3	100
14	28° 28,32	71°11,02'	Huasco	Huasco Bajo	1,06	Freirina	1,11	8,49	1,09	27	2	107
15	28° 28,52'	71°09,23'	Huasco	La Arena	1,65	Paona	1,23	8,05	5,95	21	1	125
16	28° 28,21'	71°09,62'	Huasco	La Arena	1,43	Paona	0,68	8,12	4,17	16	1	64
17	28° 27,54'	71° 11,04'	Huasco	La Cachina	1,00	Paona	1,22	8,06	8,8	23	1	136
18	28° 29,65'	71° 08,17'	Freirina	Las Tablas	1,16	Paona	0,71	8,25	2,5	17	1	53
19	28° 28,96'	71°09,30'	Huasco	El Pino	0,95	Freirina	2,18	8,23	3,74	22	2	111
20	28° 29,90'	71°08,32'	Freirina	Las Tablas	0,70	Freirina	1,43	8,28	1,58	26	1	18
21	28° 30,46'	71°06,00'	Freirina		0,70	Freirina	0,74	8,50	1,97	20	1	122
22	30° 30,07'	71°05,77'	Freirina	Los Loros	1,10	Tatara	1,54	8,05	3,00	18	2	87
23	28° 29,63'	71°08,01'	Huasco		1,05	Paona	0,82	8,56	4,52	21	1	83
24	28° 29,12'	71°08,67'	Huasco	La Camelia	1,20	Bellavista	0,38	8,45	2,24	25	1	107
25	28° 28,25'	71° 10,05'	Huasco	La Arena	0,55	Bellavista	2,07	8,00	4,55	19	3	123
26	28° 28,85'	71° 09,50'	Huasco	Huasco Bajo	0,97	Freirina	2,15	8,21	1,17	19	9	85
27	28° 28,71 '	71° 10,44'	Huasco	Huasco Bajo	1,10	Freirina	0,96	8,57	0,77	20	1	92
28	28° 28,25'	71° 11,51'	Huasco	Huasco Bajo	1,00	Freirina	0,87	8,35	1,43	24	1	87
29	28° 28,26'	71°11,09'	Huasco	Huasco Bajo	1,00	Freirina	1,16	8,17	1,01	21	2	160
30	28° 28,59'	71° 10,73'	Huasco	Huasco Bajo	0,90	Freirina	0,86	7,99	0,87	16	1	98

Fuente: Elaboración propia en base a estudio CNR/CICA (2002).

En la figura siguiente se presenta la ubicación de las 30 calicatas efectuadas en el contexto de la Tesis de Grado, presentadas en el estudio CNR/CICA (2002).

Figura 22. Localización de calicatas Tesis de Grado (1998)



Fuente: CNR/CICA (2002).

En función de los resultados obtenidos en las 30 calicatas se indica que:

- La materia orgánica es muy baja < 2% en un 82% de los sitios y en los restantes es baja (2 a 3%).
- Los pH son moderadamente alcalinos, fluctuando en un rango de 7,85 a 8,70.
- La conductividad eléctrica en extracto de saturación fluctúa entre 0,77 a 8,8 dS/m.
- En cuanto a los nutrientes disponibles, se observaron bajos niveles de nitrógeno y fósforo. El potasio en un 50% de los sitios se encuentra bajo los 1000 ppm y un 37% en un rango de 101 a 150 ppm. El Zn, Mn y B son altos en todas las muestras.
- En cuanto a los cationes de intercambio, el calcio es dominante en todas las muestras.

Un resumen para evaluar la información de calidad de suelo aportada por este estudio se presenta en la tabla siguiente.

**Tabla 26. Antecedentes sobre el muestreo y análisis de suelo reportados en estudio CNR/CICA (2002).**

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
Cantidad de muestras	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 24 muestras tomadas a distintas profundidades en 6 calicatas</li> <li>- Además se incluyeron antecedentes de muestreo de Tesis de Grado, correspondiente a 30 muestras en 30 calicatas</li> </ul>
Inclusión de duplicados		X	
Localización muestras	X		Se presentan coordenadas en latitud y longitud
Profundidad muestreo	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distintas profundidades de muestreo, entre 0 y 125 cm dependiendo de la calicata</li> <li>- En muestreo de Tesis de Grado, de 15 a 35 cm</li> </ul>
Reporte original de laboratorio certificado	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si, resultados de muestreo de las 6 calicatas, efectuados por laboratorio CIMM.</li> <li>- No, de resultados de muestreo de Tesis de Grado</li> </ul>
Fecha de muestreo	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para 6 calicatas si se presenta fecha referencial, a fines de Noviembre del 2001.</li> <li>- Muestreo de Tesis de Grado habría sido efectuado el año 1998, no se indica fecha específica</li> </ul>
Fecha análisis	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para 6 calicatas se indica fecha de reporte de laboratorio, el 29 de abril de 2002.</li> <li>- No, de resultados de muestreo de Tesis de Grado</li> </ul>
Análisis efectuados	X		<p>En 6 calicatas efectuadas en el estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pH en agua usando una relación 1:2,5</li> <li>- Conductividad eléctrica en el extracto de saturación</li> <li>- Cationes solubles: Ca, Mg, Na, K</li> <li>- Aniones solubles: Cl, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub></li> </ul> <p>En 30 calicatas efectuadas en muestreo de Tesis de Grado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Cinc, Manganeso y Boro disponible</li> <li>- Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio intercambiable</li> <li>- Conductividad eléctrica en el extracto de saturación</li> <li>- pH en agua, usando una relación de 1:2,5 (suelo/agua)</li> <li>- Materia orgánica por el método de oxidación por vía húmeda de Walkley-Black</li> </ul>
Método de análisis	X		Parcialmente, lo indicado en fila previa

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
LC y LD técnica de análisis		X	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior, es posible indicar que las muestras de suelo tomadas y analizadas en las 6 clicatas efectuadas en el estudio CNR/CICA (2002), se pueden considerar válidas, sobre todo porque se cuenta con el reporte original del laboratorio, lo que le da un respaldo a los resultados presentados. Así, estos resultados se consideran posibles de incluir y evaluar como parte de los antecedentes existentes sobre el componente suelo superficial y subsuperficial de Huasco.

En el caso de los resultados del muestreo de la Tesis de Grado incluida en el estudio, correspondiente a 30 muestras en 30 calicatas, no se cuenta con los reportes de laboratorio, ni con antecedentes detallados de dicho trabajo, por lo que estos resultados se consideran solo como datos referenciales.

#### **9.2.2.2 DICTUC (2012). Estudio para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica sobre el rubro olivícola, sector costero Valle del Huasco.**

El área del estudio corresponde a la parte inferior del Valle del Río Huasco, ubicado en la Región de Atacama, Provincia de Huasco, en el área comprendida entre las comunas de Huasco y Vallenar.

Este estudio desarrolló varios tópicos para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica sobre el rubro olivícola, dentro de los cuales elaboró un diagnóstico de la presencia y acumulación de metales específicos en el suelo. Este tema tuvo como objetivo evaluar la presencia y acumulación de metales específicos en los suelos de la sección inferior del Valle del Río Huasco, para lo cual se realizó una campaña de terreno tomando muestras en la superficie del suelo (contacto reciente) y en profundidad (registro histórico). Los sitios de muestreo se definieron tomando en consideración los resultados de la modelación preliminar de la dispersión de contaminantes atmosféricos desarrollada en el mismo estudio.

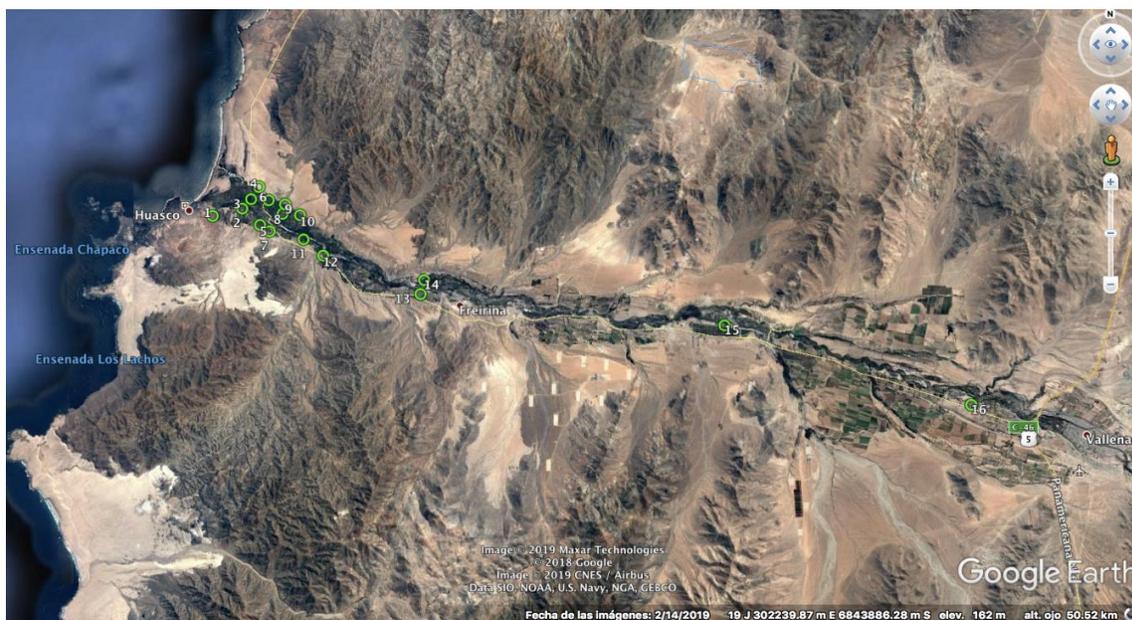
Así, se seleccionaron 16 sitios para el muestreo de suelo, prefiriendo terrenos con presencia de huertos de olivo. De estos, 14 se ubicaron en el sector comprendido entre la parte baja de Huasco y Freirina (sitios HS01 a HS14). Los 2 sitios restantes (puntos de control) se establecieron en un área potencialmente menos afectada por la deriva de las emisiones provenientes de la zona del puerto, esto es, entre Freirina y Vallenar (sitios HS15 y HS16). La ubicación de cada sitio de muestreo se presenta en la siguiente tabla y figura.

**Tabla 27. Coordenadas UTM de sitios muestreados en estudio DICTUC (2012)**

N°	Código Muestra Cliente	Coordenadas Datum WGS-84	
		X (Este)	Y (Norte)
1	HS01	283920	6848844
2	HS02	285411	6849216
3	HS03	285866	6849688
4	HS04	286267	6850302
5	HS05	286327	6848387
6	HS06	286770	6849626
7	HS07	286813	6848064
8	HS08	287474	6848945
9	HS09	287609	6849416
10	HS10	288363	6848873
11	HS11	288536	6847654
12	HS12	289543	6846834
13	HS13	294486	6844876
14	HS14	294663	6845584
15	HS15	309894	6843271
16	HS16	322333	6839253

Fuente: Elaboración propia en base a datos estudio DICTUC (2012)

Figura 23. Localización de sitios muestreados en estudio DICTUC (2012)



Fuente: Elaboración propia en base a estudio DICTUC (2012)

Otra variable considerada en la selección de los sitios de muestreo fue la presencia de la línea del tren y el transporte de material a lo largo del valle. Con el fin de evaluar el posible efecto del arrastre de material debido al viento, se muestrearon sitios ubicados a distintas distancias y orientaciones (norte y sur) en relación a la línea del tren. Los sitios se distribuyeron de forma tal que se muestrearon puntos desde 60 m hasta 1200 m de distancia de la línea del tren.

A continuación, se presentan los resultados relacionados con textura, pH, CE y MO en suelos del estudio DICTUC (2012).

Tabla 28. Resultados de textura, pH, CE y MO en suelos - estudio DICTUC (2012)

Sitio muestreo	Textura	pH	CE (mS/cm)	M.O. (%)
HS01	Franco arenosa	7,93	8,75	3,37
HS02	Franco arenosa	8,36	1,38	3,17
HS03	Franco arenosa	8,19	22,60	6,25
HS04	Areno francosa	8,42	1,77	0,72
HS05	Franco arenosa	8,42	1,65	3,35
HS06	Franca	8,59	3,06	5,04
HS07	Franco arenosa	8,51	2,58	4,73
HS08	Franco limosa	8,82	107,0	6,47

Sitio muestreo	Textura	pH	CE (mS/cm)	M.O. (%)
HS09	Franco arenosa	8,34	1,28	2,99
HS10	Franco limosa	8,13	20,68	4,51
HS11	Franco arenosa	8,30	1,00	4,86
HS12	Franco arenosa	7,73	11,60	7,73
HS13	Franca	7,60	1,34	3,63
HS14	Franco arenosa	8,72	27,00	3,07
HS15	Franca	8,08	6,49	7,55
HS16	Franco arenosa	8,35	27,90	1,32

Fuente: Elaboración propia en base a datos DICTUC (2012)

En el caso de metales, los resultados se presentan de forma agrupada por cada metal, tal como se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 29. Resultados de contenido de metales en suelo - estudio DICTUC (2012)

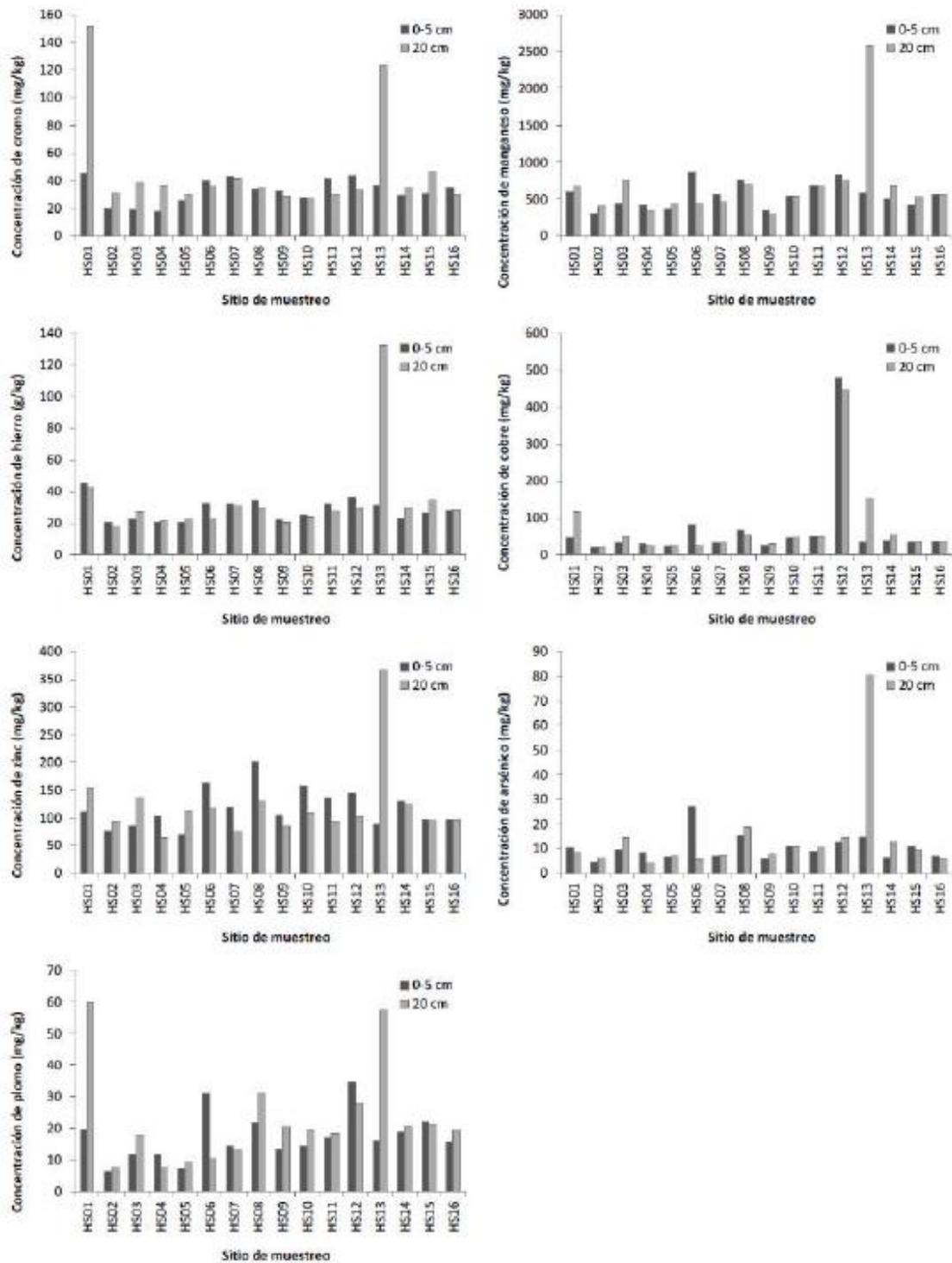
Elemento	Profundidad	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Máximo	Mínimo
	cm					
Cr	0-5	33	9	0,27	45	17
	20	47	36	0,76	151	27
Mn	0-5	553	170	0,31	865	312
	20	680	528	0,78	2581	303
Fe	0-5	28228	7074	0,25	45035	20066
	20	33775	27001	0,80	132437	17869
Cu	0-5	67	111	1,66	480	19
	20	75	105	1,41	446	21
Zn	0-5	118	36	0,30	201	70
	20	123	69	0,57	367	64
As	0-5	10	5	0,53	27	4
	20	14	18	1,30	81	4
Pb	0-5	17	8	0,44	35	6
	20	23	16	0,69	60	8

Fuente: Elaboración propia en base a datos DICTUC (2012)

De acuerdo a la tabla anterior, los resultados de metales en suelo del estudio DICTUC (2012) no permiten asociar un contenido de metales en suelo a un sitio de muestreo específico. Sin embargo, en el informe se presentan gráficos con el contenido de metales (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Pb) medidos a las dos profundidades de suelo muestreadas (0-5 y 20 cm), lo que permite tener una idea o referencia acerca del contenido de metales

medido en cada sitio y a cada profundidad. En la figura siguiente se presentan los gráficos antes indicados.

Figura 24. Gráficos con concentración de metales en suelos muestreados - estudio DICTUC (2012)



Fuente: DICTUC (2012)

De acuerdo a los contenidos de metales medidos, en el estudio se concluye que las concentraciones están dentro de los rangos esperados para suelos cultivados, aunque no se especifican valores referenciales o normativas internacionales consideradas para hacer dicha aseveración. Además, concluye que no hay correlación entre la variable distancia y la concentración medida, pero sin hacer un análisis claro y detallado.

Un resumen para evaluar la información de calidad de suelo aportada por este estudio se presenta en la tabla siguiente.

**Tabla 30. Antecedentes sobre el muestreo y análisis de suelo reportados en estudio DICTUC (2012)**

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
Cantidad de muestras	X		32 muestras. Se tomaron 16 muestras superficiales y 16 muestras subsuperficiales
Inclusión de duplicados		X	
Localización muestras	X		Se presentan coordenads UTM y mapas
Profundidad muestreo	X		0-5 cm y 20 cm
Reporte original de laboratorio certificado		X	No se presentan reportes
Fecha de muestreo	X		Julio 2011
Fecha análisis		X	
Análisis efectuados	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Textura</li> <li>- pH</li> <li>- CE</li> <li>- Materia Orgánica (M.O.)</li> <li>- Metales, a través de XRF portátil en un inicio y TXRF después. Además del envío de contramuestras a laboratorio externo.</li> </ul>
Método de análisis	X		Parcialmente, lo indicado en fila previa
LC y LD técnica de análisis		X	

De acuerdo a la tabla anterior, no se cuenta con los reportes de laboratorio de los resultados analíticos de calidad de suelo de los 16 sitios muestreados en estudio DICTUC (2012), ni con antecedentes detallados de presencia de metales en cada uno de los sitios analizados, por lo que estos resultados se consideran solo como datos referenciales.

### 9.2.2.3 MMA/CENMA (2017). Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación. (versión corregida 5, de agosto de 2017)

El estudio fue efectuado según la licitación ID N°608897-96-LP15 de Mercado Público. El objetivo general fue realizar una evaluación integral de la presencia de polvo negro en las distintas matrices ambientales de la comuna de Huasco.

Entre las actividades efectuadas en el contexto del estudio, se encuentran varias campañas de muestreo que incorporaron distintas matrices ambientales, incluyendo suelo, las que se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 31. Resumen muestreos efectuados en estudio MMA/CENMA (2017)

Matriz ambiental	Cantidad de muestras					Total de muestras
	Campaña 1 Octubre/ 2015	Campaña 2 Noviembre/ 2015	Campaña 3 Diciembre/ 2015	Campaña 4 Enero/ 2016	Campaña 5 Febrero/ 2016	
Suelo superficial	23	21	2	-	5	51
Sedimento	3	-	21	-	-	24
Agua superficial	6	2	34	-	-	42
Biota	10	1	-	19	-	30
Polvo depositado	16	13	-	20	-	49
Material Particulado Sedimentable (MPS)	-	-	15	15	15	45
Suelo background	-	-	-	-	41	41

Fuente: MMA/CENMA (2017)

De acuerdo a la tabla anterior, se tomaron 51 muestras de suelo superficial y 41 muestras de suelo de tipo background. Los resultados originales de los análisis efectuados en todas las matrices ambientales, incluyendo los de suelo, se adjuntan en el Anexo 3 del estudio, los que fueron revisados. En los reportes se incluyen antecedentes sobre el muestreo y análisis de las muestras de suelo, los que se detallan a continuación.

Tabla 32. Antecedentes sobre el muestreo y análisis de suelo reportados en estudio MMA/CENMA (2017)

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
Cantidad de muestras y duplicados – suelo superficial	X		50 muestras y 1 duplicado (51 en total)
Cantidad de muestras y duplicados – suelo background	X		36 muestras y 5 duplicados (41 en total)

Item	¿Información disponible en el estudio?		Antecedentes Presentados
	SI	No	
Localización muestras	X		Coordenadas en Datum WGS-84
Profundidad muestreo	X		0-20 cm
Reporte original de laboratorio certificado	X		Si, de laboratorio de Química Ambiental de CENMA
Fecha de muestreo	X		Entre 23.10.2015 y 25.02.2016
Fecha análisis	X		Depende de analito, se verificó que se respetaron holding times
Análisis efectuados – suelo superficial	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH en muestras 1 a 44 (en muestras 45 a 51 no se midió)</li> <li>- Barrido metales. En muestras 1 a 44 se midió Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn, V, Ba, Co, y Fe (11 metales). En muestras 45 a 51 se midió, además de los anteriores, As, Al, Se, Ag, Mo, Be, y B (18 metales).</li> </ul>
Análisis efectuados – suelo background	X		Barrido metales. En todas las muestras se analizó Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Al, Se, Mn, Ag, V, Ba, Co, Mo, Be, B y Fe (18 metales)
Método de análisis	X		<p>pH: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Ed.2005, Método 4500.</p> <p>Barrido metales: mediante ICP-OES. USEPA, SW 846. Method 6010 C</p>
LC y LD técnica de análisis	X		Valor dependiente del analito

De acuerdo a la tabla anterior, es posible indicar que las muestras de suelo superficial y background tomadas y analizadas en el contexto del estudio MMA/CENMA (2017) se pueden considerar válidas, sobre todo porque se cuenta con el reporte original del laboratorio, lo que da un respaldo a los resultados presentados. Así, estos resultados se consideran posibles de incluir y evaluar como parte de los antecedentes existentes sobre el componente suelo superficial y subsuperficial de Huasco.

Más antecedentes sobre dichas muestras y sus resultados se detallan a continuación.

#### **9.2.2.3.1 Suelo Superficial.**

El nombre y ubicación de las 51 muestras de suelo superficial se presentan en la tabla y figura siguientes. Cabe indicar que la muestra 13 corresponde al duplicado de la muestra 12, razón por la que tienen las mismas coordenadas.

Tabla 33. Localización muestras suelo superficial - estudio MMA/CENMA (2017)

Nº	Código Muestra Cliente	Código Muestra CENMA	Coordenadas Datum WGS-84		Nº	Código Muestra Cliente	Código Muestra CENMA	Coordenadas Datum WGS-84	
			X (Este)	Y (Norte)				X (Este)	Y (Norte)
1	PTO 29-Suelo	57797	320914	6839507	27	Suelo 4-C2	57961	281694	6849230
2	PTO 31-Suelo	57798	309490	6843273	28	Suelo 5-C2	57962	291723	6849217
3	PTO 50-Suelo	57799	302990	6844100	29	Suelo 6-C2	57963	282445	6849297
4	PTO 26-Suelo	57800	288809	6848640	30	Suelo 7-C2	57964	282786	6848685
5	PTO 27-Suelo	57801	290060	6847914	31	Suelo 8-C2	57965	280389	6846788
6	PTO 44-Suelo	57802	290985	6847048	32	Suelo 9-C2	57966	286151	6848657
7	PTO 47-Suelo	57803	292651	6846079	33	Suelo 10-C2	57967	286280	6849483
8	PTO 48-Suelo	57804	295040	6845984	34	Suelo 11-C2	57968	287863	6848796
9	PTO 18-Suelo	57805	280294	6846738	35	Suelo 12-C2	57969	288543	6847541
10	PTO 34B-Suelo	57806	279783	6844479	36	Suelo 13-C3	57970	288516	6847544
11	PTO 34-Suelo	57807	281328	6844433	37	Suelo 14-C2	57971	288582	6847635
12	PTO 17-Suelo1	57808	280644	6848248	38	Suelo 15-C2	57972	291775	6845678
13	PTO 17-Suelo2	57809	280644	6848248	39	Suelo 16-C2	57973	297345	6844454
14	PTO 5-Suelo	57810	281737	6849298	40	Suelo 17-C2	57974	302740	6843785
15	PTO 3-Suelo	57811	281843	6849095	41	Suelo 18-C2	57975	309435	6843318
16	PTO 12-Suelo	57812	283247	6849609	42	Suelo 19-C2	57976	314642	3841769
17	PTO 15-Suelo	57813	284008	6849215	43	Suelo 20-C2	57977	324910	6839034
18	PTO 39-Suelo	57814	285878	6849796	44	Suelo 21-C2	57978	327108	6837784
19	PTO 21-Suelo	57815	286644	6849971	45	Suelo 1-C3	58065	285525	6850702
20	PTO 28-Suelo	57816	327015	6837772	46	Suelo 2-C3	58066	286572	6849007
21	PTO 6-Suelo	57817	282498	6849116	47	Suelo 5-C5	58386	286290	6849488
22	PTO 16-Suelo	57818	281516	6848711	48	Suelo 6-C5	58387	287891	6848762
23	PTO 30-Suelo	57819	312043	6842432	49	Suelo 8-C5	58388	291768	6845690
24	Suelo 1-C2	57958	296379	6844915	50	Suelo 10-C5	58389	314644	6841770
25	Suelo 2-C2	57959	296363	6844879	51	Suelo 11-C5	58390	324920	6839089
26	Suelo 3-C2	57960	296356	6844892					

Figura 25. Localización de muestras de suelo superficial de estudio MMA/CENMA (2017)



Fuente: Estudio MMA/CENMA (2017)

Los resultados analíticos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 34. Resultados suelo superficial sistematizados - estudio MMA/CENMA (2017)

Nº	pH	Concentración (mg/kg)										
		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe
1	6,57	6,0	78,4	24,4	33,5	16,7	9,81	757	64,9	55,8	11,95	32.061
2	7,34	5,3	55,2	20,8	23,9	11,5	4,99	428	63,7	36,1	9,73	26.580
3	6,67	5,9	62,1	22,2	23,6	18,1	4,34	831	69,3	61,6	10,74	29.790
4	7,05	7,2	64,1	24,5	25,5	14,7	<2,09	1052	91,2	83,5	11,77	36.740
5	6,93	7,3	58,5	34,7	37,1	20,5	<2,09	750	88,1	53,5	15,40	37.206
6	6,44	6,8	67,5	29,3	26,0	17,7	<2,09	1023	76,4	64,8	14,51	35.200
7	7,39	7,0	67,9	27,4	35,7	15,6	4,40	2409	84,3	254,7	14,11	35.080
8	8,16	6,9	59,9	23,7	25,8	20,9	5,51	490	78,8	46,5	11,72	33.240
9	7,02	5,0	27,1	22,0	9,7	48,7	<2,09	266	80,5	34,8	8,79	22.870
10	7,33	3,3	24,6	17,6	31,4	8,8	<2,09	141	38,9	18,7	4,69	16.030
11	6,62	7,6	37,8	22,0	15,3	12,0	<2,09	300	80,7	31,4	10,06	35.960
12	6,18	58,6	107,2	18,6	27,1	39,8	21,25	493	999	152,8	22,77	336.400
13	6,23	70,4	144,1	45,3	32,0	46,5	128,00	654	1219	717,5	27,07	405.200
14	6,7	32,9	139,2	22,9	109,5	30,2	24,95	398	491,1	35,7	22,87	188.800
15	7,49	34,5	67,4	12,6	9,0	28,3	<2,09	474	694	15,8	16,72	194.608
16	7,83	10,2	115,5	36,1	61,6	28,8	43,07	454	147	37,7	14,90	53.860
17	7,1	8,3	75,4	33,8	24,2	19,4	<2,09	493	113	28,4	15,11	39.900
18	7,52	7,8	142,5	22,4	40,8	17,3	10,87	523	95,43	70,5	11,96	36.500
19	7,71	3,0	27,7	14,5	8,1	12,1	<2,09	215	34,57	15,1	5,93	12.420
20	7,05	6,6	95,1	25,2	50,1	16,4	19,96	586	90,98	73,8	13,34	31.260
21	6,7	10,8	151,0	24,1	174,2	15,4	35,55	355	135	62,6	13,21	104.804
22	6,86	14,2	39,0	16,0	52,2	11,6	<2,09	247	190	25,7	11,40	75.224
23	7,21	6,0	62,4	21,4	35,9	13,7	6,90	645	87,4	49,4	11,16	34.765
24	7,1	4,7	113,8	19,2	166,7	11,2	53,54	473	66,9	90,6	11,26	27.172
25	7,95	5,9	108,5	19,7	685,8	10,1	67,25	8634	74,6	98,8	16,53	36.977
26	7,24	4,3	60,4	18,3	87,1	7,7	18,50	390	73,7	73,8	9,01	26.787
27	7,55	19,6	215,1	18,7	61,8	13,7	28,32	326	347	41,1	13,91	149.557
28	7,28	40,8	98,8	15,6	159,2	28,3	15,78	415	1174	35,5	25,08	327.113
29	8,06	7,9	68,2	25,5	21,3	15,3	8,25	311	140	36,5	11,41	51.603
30	7,77	4,7	53,3	21,2	24,7	8,9	12,90	281	78,7	30,3	7,75	30.179
31	7,26	3,5	9,1	19,6	<2,06	6,6	<2,09	324	66,9	18,9	9,80	19.004
32	8,04	4,4	44,9	20,2	17,4	8,8	6,96	438	67,6	35,6	9,25	26.285
33	7,86	4,1	76,7	18,9	31,5	10,0	11,15	726	59,4	59,7	9,23	24.075
34	8,12	4,0	70,4	18,3	30,1	7,4	10,28	661	56,4	63,2	9,06	21.024

Nº	pH	Concentración (mg/kg)										
		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe
35	7,78	5,5	56,2	38,2	29,6	15,8	7,89	480	82,1	65,5	14,51	32.812
36	7,5	5,0	31,2	19,1	37,3	10,1	8,93	295	81,5	29,2	9,67	28.975
37	7,42	4,6	54,9	22,3	33,6	13,5	9,31	368	75,4	33,0	10,23	26.336
38	7,61	3,4	78,7	17,2	37,0	9,9	17,40	455	46,9	61,3	8,89	19.254
39	8,12	3,1	35,7	15,0	18,8	<2,24	9,28	427	55,3	36,2	7,75	17.386
40	7,85	5,3	57,4	25,1	23,9	13,6	9,15	719	94,4	52,8	10,89	29.789
41	7,67	5,6	49,2	25,4	20,1	12,3	9,95	491	102	41,9	10,99	32.440
42	7,92	4,6	45,1	19,4	20,4	15,4	12,86	498	65,3	48,9	10,04	22.934
43	7,79	4,3	117,5	29,0	72,9	11,5	37,82	432	68,1	77,3	10,03	22.885
44	7,29	4,5	74,1	22,7	56,2	10,7	31,57	416	81,8	84,3	11,03	28.177
45	-	4,4	38,4	15,4	8,5	6,2	<2,09	225	69,0	13,1	5,69	23.560
46	-	4,02	56,9	14,6	28,2	10,7	5,68	352	44,9	42,5	8,49	17.376
47	-	<1,02	75,5	19,9	29,1	15,0	9,66	605	58,6	50,9	9,28	25.075
48	-	<1,02	82,7	16,9	33,3	14,0	9,14	582	51,71	61,9	8,29	24.645
49	-	<1,02	83,8	16,1	35,5	13,9	12,97	462	37,1	52,6	7,48	18.872
50	-	<1,02	66,0	22,1	33,4	14,7	10,50	676	63,2	49,5	10,43	28.950
51	-	<1,02	133,2	24,0	1113,6	22,3	49,17	776	72,4	136,3	31,68	36.116
LD		1,02	3,19	1,8	2,06	2,24	2,09	2,51	0,68	2,09	0,8	1,8
LC		3,41	10,63	6,02	6,86	7,48	6,97	8,39	2,26	6,97	2,68	6

Nota: LD: Límite de detección y LC: Límite de cuantificación

Fuente: Elaboración propia en base a estudio MMA/CENMA (2017)

A continuación, se presentan algunos estadígrafos estadísticos de los resultados de las muestras de suelo superficial presentados en la tabla anterior.

Tabla 35. Estadística descriptiva suelo superficial - estudio MMA/CENMA (2017)

Estadígrafo	pH	Concentración (mg/kg)										
		Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Mn	V	Ba	Co	Fe
Número mediciones (N)	44	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Promedio	7,35	9,70	75,0	22,34	75,12	16,16	16,83	691	166	69,56	12,30	59409
Mediana	7,37	5,32	67,37	21,43	31,54	13,89	9,66	473	78,74	49,53	10,99	30179
Mínimo	6,18	1,02	9,10	12,598	2,06	2,24	2,09	141,2	34,57	13,106	4,69	12420
Máximo	8,16	70,44	215,1	45,33	1114	48,65	128	8634	1219	717,5	31,68	405200
Desviación estándar	0,53	13,77	38,88	6,45	178	9,34	21,93	1182	269	101	5,34	84401

Nota: Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han considerado como iguales a este valor para el cálculo de los estadígrafos estadísticos.

Fuente: Elaboración propia en base a estudio MMA/CENMA (2017)

**9.2.2.3.2 Suelo Background.**

El nombre y la ubicación de las muestras de suelo background se presentan en la tabla y figura siguientes. Cabe indicar que las muestras con denominación “NºD” en la primera fila de la tabla siguiente, corresponden a duplicados del mismo número de muestra (muestras 3D, 21D, 30D, 40D), razón por la que tienen las mismas coordenadas.

**Tabla 36. Coordenadas muestras suelo background - estudio MMA/CENMA (2017)**

Nº	Código Muestra Cliente	Código Muestra CENMA	Coordenadas Datum WGS-84		Nº	Código Muestra Cliente	Código Muestra CENMA	Coordenadas Datum WGS-84	
			X (Este)	Y (Norte)				X (Este)	Y (Norte)
1	Suelo Qe-1	58373	290618	6891711	24	Suelo TrJ1m-7	58398	292794	6794834
2	Suelo Qe-2	58374	290644	6892191	25	Suelo TrJ1m-8	58399	293451	6796043
3	Suelo Qe-3	58375	290231	6893454	26	Suelo TrJ1m-9	58400	293227	6796237
3D	Suelo Qe-3 dup.	58376	290231	6893454	27	Suelo TrJ1m-10	58401	293171	6795908
4	Suelo Qe-4	58377	290505	6894224	28	Suelo TrJ1m-11	58402	293006	6795623
5	Suelo Qe-5	58378	290770	6893809	29	Suelo TrJ1m-12	58403	292865	6795161
6	Suelo Qe-6	58379	290762	6895305	30	Suelo Qf-1	58404	356221	6788941
7	Suelo Qe-7	58380	290838	6894743	30D	Suelo Qf-1 Dup.	58405	356221	6788941
8	Suelo Qe-8	58381	290290	6896843	31	Suelo Qf-2	58406	356202	6789139
9	Suelo Qe-9	58382	290207	6897170	32	Suelo Qf-3	58407	356115	6789321
10	Suelo Qe-10	58383	290262	6897565	33	Suelo Qf-4	58408	356205	6789561
11	Suelo Qe-11	58384	290708	6897414	34	Suelo Qf-5	58409	356282	6789713
12	Suelo Qe-12	58385	290805	6897069	35	Suelo Qf-6	58410	356583	6790399
18	Suelo TrJ1m-1	58391	293156	6791237	36	Suelo Qf-7	58411	356642	6790466
19	Suelo TrJ1m-2	58392	293073	6791285	37	Suelo Qf-8	58412	356668	6790569
20	Suelo TrJ1m-3	58393	293028	6971396	38	Suelo Qf-9	58413	357719	6793256
21	Suelo TrJ1m-4	58394	293033	6791327	39	Suelo Qf-10	58414	357703	6794319
21D	Suelo TrJ1m-4 Dup.	58395	293033	6791327	40	Suelo Qf-11	58415	359123	6804932
22	Suelo TrJ1m-5	58396	293168	6791551	40D	Suelo Qf-11 Dup.	58416	359123	6804932
23	Suelo TrJ1m-6	58397	292905	6791548	41	Suelo Qf-12	58417	359234	6805297

Fuente: Elaboración propia en base a estudio MMA/CENMA (2017)

Figura 26. Localización muestras de suelo background - estudio MMA/CENMA (2017)

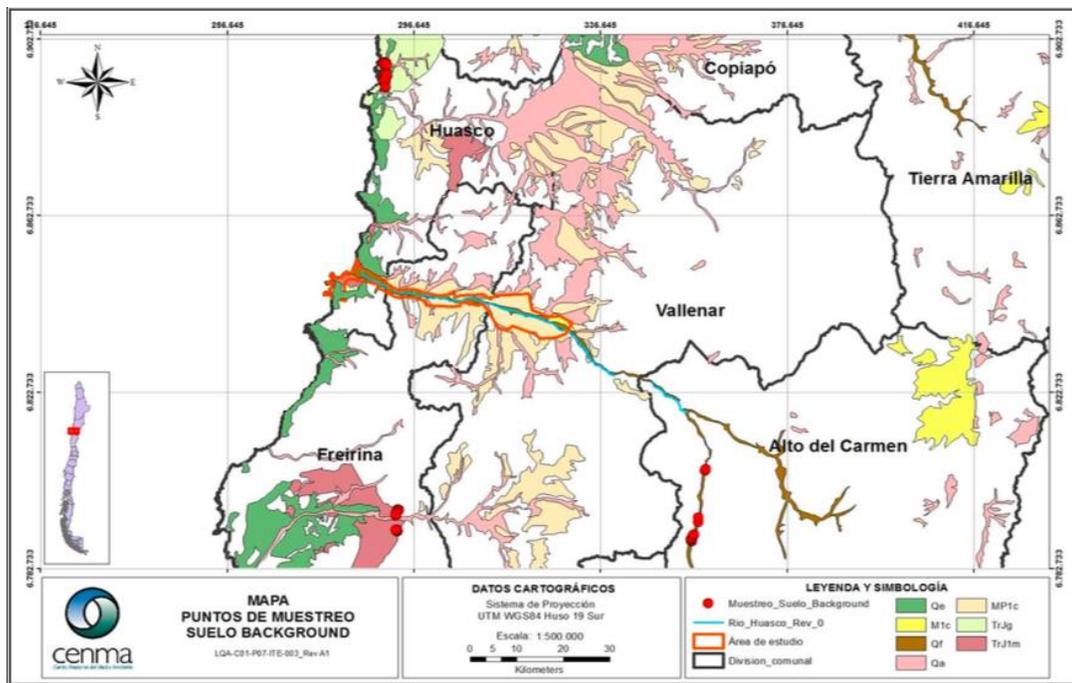


Nota: íconos color amarillo corresponden a muestras background, mientras que íconos color rojo, corresponden a muestras de suelo superficial

Fuente: Elaboración propia en base a estudio MMA/CENMA (2017)

Respecto a la ubicación de las muestras de suelo background, en el informe se indica que ésta se definió tomando en consideración los sectores sin intervención humana evidente y el mapa geológico de Chile de SERNAGEOMIN (2003), según el cual, existen diez tipos geológicos de suelo. De estos diez tipos, se seleccionaron los tres que se consideró que representaban mejor el área de influencia del polvo negro, siendo éstos los tipos Qf (ubicado a lo largo de toda la cuenca), Qe y TrJ1m (correspondientes al sector costero de Huasco), cuya localización se presentó en el mapa siguiente.

Figura 27. Mapa con la localización de los tipos geológicos de suelo considerado en estudio MMA/CENMA (2017)



Fuente: MMA/CENMA (2017)

Los resultados analíticos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 37. Resultados suelo background - estudio MMA/CENMA (2017)

Nº	Unidad Geológica	Concentración (mg/kg)																	
		Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe
1	Qe	<1,02	28,31	14,95	<1,66	13,01	9,29	4,38	3066,41	<2,77	194,95	<2,52	33,49	10,96	5,05	<0,89	<0,38	<0,74	15.626
2		<1,02	20,47	12,37	<1,66	10,78	7,49	<2,09	2571,48	<2,77	164,66	<2,52	28,7	9,87	4,28	<0,89	<0,38	<0,74	12.798
3		<1,02	22,28	20,39	3,74	10,64	6,49	<2,09	2148,06	<2,77	211,75	<2,52	53,52	10,63	5,32	<0,89	<0,38	<0,74	18.330
4		<1,02	36,55	47,48	3,44	11,55	13,2	<2,09	3363,91	<2,77	685,84	<2,52	202,59	17,16	15,01	<0,89	<0,38	<0,74	55.125
5		<1,02	29,68	29,65	3,66	11,19	7,96	<2,09	3010,03	<2,77	382,25	<2,52	104,17	13,9	8,84	<0,89	<0,38	<0,74	32.796
6		<1,02	24,51	20,09	4,44	11,37	8,12	<2,09	2838,7	<2,77	288,44	<2,52	55,51	14,8	6,76	<0,89	<0,38	<0,74	19.199
7		<1,02	29,24	32,78	3,92	10,89	10,1	<2,09	2809,58	<2,77	397,24	<2,52	117,87	12,57	9,44	<0,89	<0,38	<0,74	35.619
8		2,68	51,41	50,19	5,61	33,65	19,42	9,88	7570,83	<2,77	830,91	<2,52	145,55	36,25	17,04	<0,89	<0,38	<0,74	49.741
9		<1,02	42,05	40,07	4,59	29,73	19,63	4,3	9178,52	<2,77	555,98	<2,52	117,4	27,55	17,85	<0,89	<0,38	<0,74	41.420
10		<1,02	40,98	43,83	5	24,93	17,13	<2,09	6132,8	<2,77	520,22	<2,52	128,74	20,66	15,16	<0,89	<0,38	<0,74	39.812
11		<1,02	40,28	34,07	5,33	38,63	12,31	10,82	6262,71	<2,77	394,56	<2,52	58,09	36	12,34	<0,89	<0,38	<0,74	19.733
12		2,25	41,49	63,34	4,43	28,87	21,45	5,92	6315,74	<2,77	636,09	<2,52	218,01	15,79	17,67	<0,89	<0,38	<0,74	63.776
18	TrJ1m	<1,02	33,88	17,52	13,3	93,84	14,68	<2,09	10084,7	<2,77	1406,34	<2,52	48,92	32,82	10,08	<0,89	<0,38	<0,74	30.500
19		<1,02	28,54	21,64	16,18	139,75	14,16	<2,09	10754,38	<2,77	910,68	<2,52	67,3	38,89	14,06	<0,89	<0,38	<0,74	33.268
20		<1,02	24,27	12,95	41,79	150,87	16,83	<2,09	8442,54	<2,77	1346,35	<2,52	37,68	25,35	68,76	<0,89	<0,38	<0,74	26.748
21		<1,02	27,49	22,06	51,76	160,04	22,67	<2,09	8256,51	<2,77	1461,36	<2,52	78,6	37,55	21,4	<0,89	<0,38	<0,74	45.212
22		<1,02	45,33	51,35	12,33	113,98	32,97	6,68	8972,07	<2,77	1348,78	<2,52	83,49	62,52	21,4	<0,89	<0,38	<0,74	42.147
23		<1,02	44,99	25,14	29,12	192,12	21,27	5,22	9475,41	<2,77	1333,86	<2,52	80,53	65,83	28,18	<0,89	<0,38	<0,74	37.995
24		<1,02	61,34	31,08	18,3	97,46	18,1	5,38	7513,46	<2,77	1155	<2,52	90,37	59,59	18,73	<0,89	<0,38	<0,74	39.886
25		2,37	66,03	30,72	6,26	76,25	18,23	<2,09	9215,94	<2,77	1800,47	<2,52	133,08	85,92	28,42	<0,89	<0,38	<0,74	57.880
26		<1,02	53,92	34,51	4,28	65,42	22,14	<2,09	10491,64	<2,77	1484,76	<2,52	102,16	57,45	23,8	<0,89	<0,38	<0,74	51.013
27		2,51	61,52	23,91	6,01	78,72	21,87	<2,09	9870,17	<2,77	1197,22	<2,52	97,56	51,7	28,3	<0,89	<0,38	<0,74	48.454
28	2,56	65,35	32,43	6,7	107,92	21,06	<2,09	9333,6	<2,77	1573,5	<2,52	140,04	53,93	28,36	<0,89	<0,38	<0,74	52.646	

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Nº	Unidad Geológica	Concentración (mg/kg)																	
		Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe
29		<1,02	72,65	32,42	18,19	65,2	21,99	4,89	7240,35	<2,77	1289,3	<2,52	90,71	62,34	21,79	<0,89	<0,38	<0,74	39.684
30	Qf	2,3	239,22	18,43	42,03	56,63	25,48	32,99	12226,82	<2,77	1899,98	<2,52	65,8	130,05	28,39	<0,89	<0,38	<0,74	40.028
31		2,35	143,95	23,62	30,8	36,85	26,12	20,91	9946,98	<2,77	1741,95	<2,52	84,4	99,86	25,65	<0,89	<0,38	<0,74	40.632
32		2,19	134,97	23,13	38,77	70,7	23,21	16,94	10915,07	<2,77	765,45	<2,52	91,38	72,32	31,86	<0,89	<0,38	<0,74	39.514
33		2,53	150,78	22,52	38,26	67,85	21,37	25,11	12137,36	<2,77	1214,72	<2,52	106,67	112,79	28,97	<0,89	<0,38	<0,74	48.234
34		<1,02	182,99	18,56	25,17	28,41	22,3	15,38	8265,67	<2,77	1546,27	<2,52	46,9	122,89	19,86	<0,89	<0,38	<0,74	28.418
35		<1,02	167,33	25,73	32,46	52,4	20,61	21,69	8074,48	<2,77	1358,49	<2,52	85,8	90,47	20,43	<0,89	<0,38	<0,74	39.861
36		2,36	119,53	25,09	14,24	46,66	20,56	22,02	10657,04	<2,77	1148,82	<2,52	95,26	123,69	20,56	<0,89	<0,38	<0,74	41.075
37		<1,02	154,03	18,27	26,84	59,46	19,2	21,59	10564,64	<2,77	1366,72	<2,52	61,72	104,15	21,72	<0,89	<0,38	<0,74	35.305
38		<1,02	127,06	22,84	31,3	24,14	24,61	14,96	6510,82	<2,77	2281,12	<2,52	50,52	97,18	18,55	<0,89	<0,38	<0,74	29.899
39		<1,02	150,27	23,15	57,84	33,56	25,51	18,04	9073,42	<2,77	1539,07	<2,52	57,81	115,33	23,12	<0,89	<0,38	<0,74	32.313
40		<1,02	107,1	34,49	28,89	37,53	34,37	14,32	8880,54	<2,77	889,14	<2,52	72,11	78,65	19,36	<0,89	<0,38	<0,74	35.433
41		<1,02	166,43	27,9	33,95	42,69	31,32	20,17	9945,12	<2,77	2030,53	<2,52	51,71	130,41	21,53	<0,89	<0,38	<0,74	30.782
	LD	1,02	3,19	1,8	1,66	2,06	2,24	2,09	1,58	2,77	2,51	2,52	0,68	2,09	0,8	0,89	0,38	0,74	1,8
	LC	3,41	10,63	6,02	5,54	6,86	7,48	6,97	5,28	9,23	8,39	8,41	2,26	6,97	2,68	2,96	1,28	2,45	6

Fuente: Elaboración propia en base a estudio MMA/CENMA (2017)

A continuación, se presentan algunos estadígrafos estadísticos de los resultados de las muestras de suelo background presentados en la tabla anterior.

Tabla 38. Estadística descriptiva suelo background - estudio MMA/CENMA (2017)

Muestras	Estadígrafo	Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe
Todas las muestras	N	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
	Promedio	1,41	78,78	28,57	18,67	59,27	19,26	9,25	7.837	2,77	1.093	2,52	88,45	59,38	20,22	0,89	0,38	0,74	37.525
	Mediana	1,0	52,7	25,1	13,8	44,7	20,6	5,1	8.662	2,77	1.206	2,52	83,9	55,7	20,1	0,89	0,38	0,74	39.599
	Mínimo	1,02	20,47	12,37	1,66	10,64	6,49	2,09	2.148	2,77	165	2,52	28,7	9,87	4,28	0,89	0,38	0,74	12.798
	Máximo	2,68	239,2	63,3	57,8	192,1	34,4	33,0	12.227	2,77	2.281	2,52	218,0	130,4	68,8	0,89	0,38	0,74	63.776
	Desv. estándar	0,64	58,41	11,5	16,0	46,6	6,9	8,7	2.908	0	563	0	42,60	39,67	11,18	0	0	0	11.833
Por unidad	Promedio Qe	1,26	33,9	34,1	4,0	19,6	12,7	4,2	4.606	2,77	439	2,52	105,3	18,8	11,2	0,89	0,38	0,74	33.665
	Promedio TrJ1m	1,39	48,77	28,0	18,7	111,8	20,5	3,2	9.138	2,77	1.359	2,52	87,53	52,82	26,10	0,89	0,38	0,74	42.119
	Promedio Qf	1,57	153,64	23,6	33,4	46,4	24,6	20,3	9.766	2,77	1.482	2,52	72,51	106,48	23,33	0,89	0,38	0,74	36.791

Nota: Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han considerado como iguales a este valor para el cálculo de los estadígrafos estadísticos. En el caso de los elementos Se, Ag, Mo, Be, y B en todas las muestras el resultado reportado fue inferior al LD, por lo que todos los estadígrafos incluidos en la tabla son iguales, excepto la desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia en base a estudio MMA/CENMA (2017)

#### **9.2.2.4 Resumen antecedentes calidad de suelo existentes y validez**

En la tabla siguiente se presenta un resumen con los antecedentes de calidad de suelo de los estudios antes detallados y su validez para el presente estudio.

**Informe de Avance N°1**

Diagnóstico y muestreo de suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama.

**Tabla 39. Resumen de estudios con datos de calidad de suelo en el área de estudio**

Nº	Nombre Proyecto	Autor	Mandante	Fecha	Cantidad de muestras y profundidad	Análisis efectuados	¿Calidad de la información adecuada?
1	Estudio y propuestas de recuperación de suelos con mal drenaje en el sector bajo del Huasco.	CICA Ingenieros Consultores	Comisión Nacional de Riego (CNR)	Agosto 2002	Análisis de suelos en 6 calicatas, en cada una de las cuales se tomaron muestras a distinta profundidad (fracción superficial – entre 0 y 25 cm dependiendo calicata, y fracción subsuperficial – entre 20 y 125 cm dependiendo calicata), analizándose en total 24 muestras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH en agua usando una relación 1:2,5</li> <li>- Conductividad Eléctrica en el extracto de saturación</li> <li>- Cationes solubles: Ca, Mg, Na, K</li> <li>- Aniones solubles: Cl, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub></li> </ul>	Sí, porque se presentan reportes de laboratorio originales y técnicas analíticas, y muestras se localizan en el área de estudio.
					En estudio se presentan datos de Tesis de Grado efectuada el año 1998, en la que se analizó calidad de suelo en tramo 15-35 cm de profundidad en 30 calicatas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N, P, K, Zn, Mn y B disponible</li> <li>- Ca, Mg, K y Na intercambiable</li> <li>- CE en extracto de saturación</li> <li>- pH en agua (1:2,5)</li> <li>- Materia orgánica</li> </ul>	No, porque no se presentan reportes de laboratorio originales. Información referencial.
2	Estudio para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco.	DICTUC S.A y Facultad de Agronomía, PUC	SEREMI de Agricultura, región de Atacama	Junio 2012	Se efectuó análisis de suelo en 16 sitios, tomando muestras a dos profundidades en cada punto (0 a 5 cm y 20 cm), analizándose en total 32 muestras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH y CE</li> <li>- Granulometría</li> <li>- Materia orgánica</li> <li>- Metales (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Pb)</li> </ul>	No, porque no se presentan reportes de laboratorio originales. Además, en el caso de metales, se presentan resultados agrupados (promedio por ej.), pero no datos individuales. Información referencial.
3	Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación.	CENMA	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	Agosto 2017	Se tomaron 50 muestras (más 1 duplicado) de suelo superficial (0-20 cm).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH en 43 muestras, y CE en 50 muestras</li> <li>- Barrido metales. En 43 muestras se midió Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn, V, Ba, Co, y Fe (11 metales). En 7 se midió, además, As, Al, Se, Ag, Mo, Be, y B (18 metales).</li> </ul>	Sí, porque se presentan reportes de laboratorio originales y antecedentes adicionales que acreditan su calidad (duplicados, fechas de análisis, técnicas analíticas), y muestras se localizan en el área de estudio.
					Se tomaron 36 muestras (más	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH y CE</li> </ul>	

### Informe de Avance N°1

Diagnóstico y muestreo de suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama.

---

N°	Nombre Proyecto	Autor	Mandante	Fecha	Cantidad de muestras y profundidad	Análisis efectuados	¿Calidad de la información adecuada?
					4 duplicados) de suelo de tipo background (0-20 cm).	– Barrido metales (Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Al, Se, Mn, Ag, V, Ba, Co, Mo, Be, B y Fe - 18 metales)	

### **9.2.3 IDENTIFICAR FOCOS DE PREOCUPACIÓN/INTERÉS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL SUELO**

El día 31 de julio en la tarde y el día 1 de agosto del presente año, se realizó una visita de inspección de toda la comuna de Huasco, y se realizó además un vuelo por dron en áreas de interés, de manera de obtener un video y una serie de fotografías aéreas, a partir de las cuales, mediante un post procesamiento, se pudieron generar ortofotos de algunas fuentes y sitios de interés para este estudio.

Con lo anterior, se corrobora que las principales actividades económicas de la comuna son la pesca artesanal, actividades portuarias, agricultura e industrias como la Empresa Eléctrica Guacolda S.A., y la planta de Pellet de la Compañía Minera del Pacífico S.A, incluyendo sus actividades asociadas.

#### **9.2.3.1 Caracterización de las principales fuentes que podrían afectar la calidad del suelo de Huasco**

Las principales fuentes de contaminación asociadas a las actividades industriales en la comuna son la Planta de Pellet de la empresa CAP S.A., la Central termoléctrica Guacolda de la Empresa Aes Gener, la estación de Transferencia de Minerales de fierro, lugares de Acopio de minerales, y el ferrocarril que transporta el preconcentrado de hierro. Adicionalmente, hay algunos pasivos y sitios con potencial presencia de contaminantes.

A continuación, se presenta un mapa con las principales fuentes de contaminación identificadas en la comuna y sus alrededores.

Figura 28. Principales Fuentes de Contaminación identificadas en la zona de interés



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de google earth

A continuación, se presenta una breve descripción de cada fuente potencial de contaminación:

### 1. Planta de Pellet

La Planta Peletizadora de Minerales de Hierro “Planta Pellets”, está ubicada en el Puerto de Huasco y opera desde el año 1977. Produce aglomerados de minerales de hierro, en forma de esferas de 9 a 16 mm de diámetro, denominadas pellets. El proceso de pelletización es utilizado para aprovechar el mineral ultrafino. Adicionalmente, se produce concentrado magnético de alta ley, denominado pellet feed y un subproducto de la peletización, denominado pellet chips<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Informe de fiscalización ambiental SMA (2017), Examen de Información, CAP Planta Pellets

El proceso se presenta en la siguiente figura:

Figura 29. Proceso Productivo Planta de Pellet

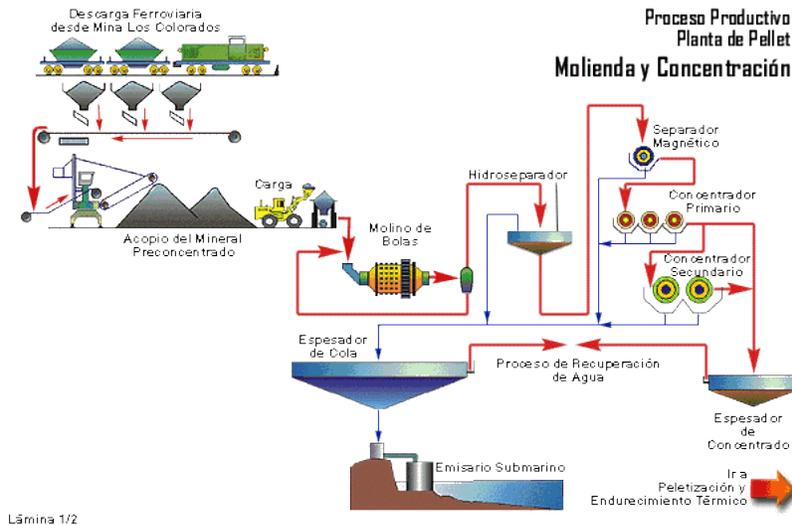


Lámina 1/2

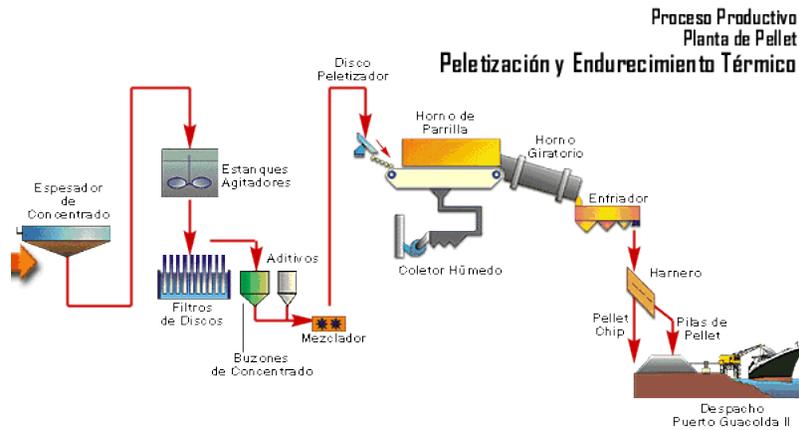


Lámina 2/2

Fuente: Acero y su producción recuperado de [www.infoacero.cl](http://www.infoacero.cl)

El mineral de hierro con que se alimentan los procesos de la Planta proviene desde Mina Los Colorados<sup>10</sup>, el cual se transporta por vía férrea por 86 km a la planta de pelletización. Cada convoy ferroviario incluye una locomotora y un total de 35 carros, de 60 toneladas

<sup>10</sup> Mina Los Colorados se encuentra aproximadamente a 30 kilómetros al noroeste de Vallenar, en la comuna de Huasco. Su principal objetivo es abastecer de preconcentrado de hierro y Sinter Feed a Planta de Pellets, ubicada en Huasco.

cada uno. Inicialmente ingresaban 7 Mt/año de preconcentrado y en la actualidad ingresan aproximadamente 9 Mt/año (SMA, 2017).

El preconcentrado es recepcionado desde los carros del ferrocarril, en la estación de descarga, donde se transfiere a buzones de traspaso. Mediante alimentadores vibratorios, un sistema de correas transportadoras y un apilador viajero, se almacena en pilas en el sector de las canchas o bien se deriva al sistema de alimentación de silos de preconcentrado. La Planta cuenta con una planta de molienda y concentración magnética húmeda para producir pellet feed y una planta de peletización para la producción de pellets de diversos tipos. Una vez que el material es homogeneizado pasa a la etapa de molienda y clasificación húmeda. El mineral tiene un nivel de impurezas principalmente de fósforo y azufre.

La etapa de molienda está compuesta por 3 líneas de proceso y cada una contiene un molino de bolas, en circuito cerrado con una batería de 6 hidrociclones. El mineral es reducido de tamaño y clasificado a 80% bajo 44 micrones. El mineral de mayor tamaño se reingresa a esta etapa y el material clasificado continúa a la etapa de "deshumidificado" mediante hidroseparadores, los cuales le extraen la mayor cantidad de agua mediante diversos procesos conformados por baterías de repaso magnéticos y concentradores, generando el material listo para la etapa siguientes que es la flotación y/o filtrado (INFOACERO, 2001)

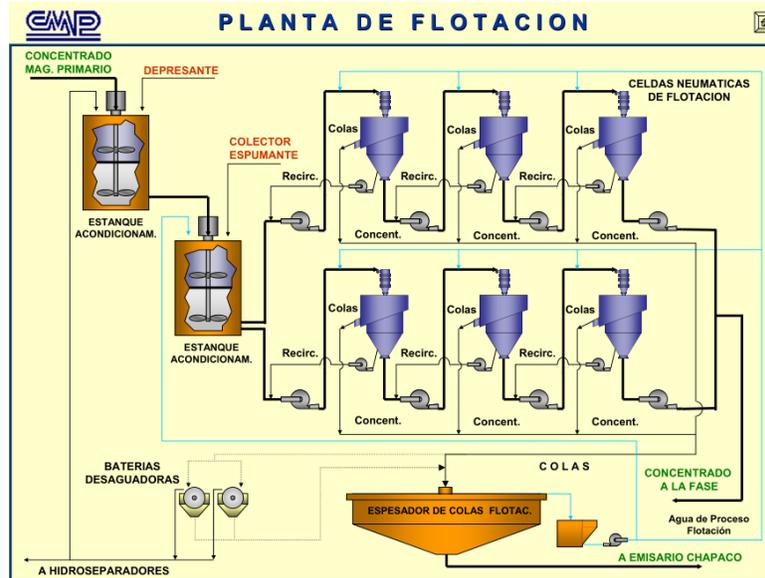
En la Planta de flotación, se adicionan espumantes y depresantes<sup>11</sup> a los estanques de acondicionamiento y, luego el material pasa a las celdas neumáticas de flotación, donde por acción de la inyección del aire se producen una serie de burbujeos, los cuales logran la separación del mineral de las colas (residual del proceso). Las colas son derivadas a un espesador el cual recicla las fracciones más gruesas reingresándolas al sistema de flotación y derivando el resto al emisario submarino en Ensenada de Chapaco.

A continuación, se presenta un esquema de Planta de flotación.

---

<sup>11</sup> Reactivo que actúa de manera opuesta al activador y contrarresta la acción del colector que hace hidrofílica la superficie del mineral (<https://glosarios.servidor-alicante.com/mineria/depresante>).

Figura 30. Planta de Flotación



Fuente: Planta de Flotación, recuperado de [www.infoacero.cl](http://www.infoacero.cl)

El mineral pasa a la etapa siguiente de filtrado, donde a través de espesadores, agitadores y filtros magnéticos se obtienen los finos magnéticos que pasan a la etapa de concentrado por boleado. Esto se realiza mediante un proceso denominado Balling por discos, los cuales concentran el mineral en forma de bolas (pelet) con un tamaño entre 9.5 mm y 15.8mm y una humedad entre el 8% y 10%. En este proceso, se da forma esférica al pellet y se obtienen las propiedades de resistencia en verde durante el manejo hasta su endurecimiento en la etapa del cocimiento.

La última etapa, es la denominada Endurecimiento Térmico, donde los pellet verdes son endurecidos en un horno que funciona a temperatura entre 1280 - 1300 grados centígrados. El proceso de quemado inicial es mediante un horno parrilla que consta de una banda sinfín recubierta con varias zonas donde se realiza la piroconsolidación. Desde ahí el material pasa a un horno rotatorio y posterior enfriador anular y recto, donde se obtienen el producto final. En este proceso se producen algunos rechazos los cuales son reintegrados al proceso inicial.

El material final resultante es enviado a la cancha de apilamiento y preparado para su embarque en las instalaciones del Terminal Marítimo Guacolda II, el cual corresponde a un muelle mecanizado ubicado en el extremo poniente de la Bahía de Huasco, al norte de la Planta, que permite el atraque de naves mayores. Desde el año pasado este embarque se realiza desde el Puerto Las Losas.

Estos procesos cuentan con las instalaciones auxiliares propias de una operación minero-industrial e instalaciones anexas para el manejo de materia prima y productos, además de un sistema de descarga de relaves que durante el período 1978 y 1993 descargaba directamente en la zona intermareal de Ensenada Chapaco, a partir del año 1994 se modificó la profundidad de depositación a 25 m (SMA, 2017).

Durante el primer proceso de evaluación ambiental, RCA N° 35/2001, se aprobaron modificaciones tecnológicas al proceso de molienda y concentración, con el objetivo de producir un nuevo tipo de pellet denominado Pellet de Reducción Directa o Pellet Midrex, manteniendo la capacidad productiva. El efluente del proceso, constituido por colas de la etapa de flotación, es enviado al cajón de traspaso del sistema de disposición submarina de colas, uniéndose a las colas producidas en el proceso de la planta de pellets para ser posteriormente descargado al mar en Ensenada Chapaco a una profundidad de depositación de 35 m y más alejado de la costa, a 300 m, lo cual se concretó en el año 2004.

Por otra parte, el objetivo de la RCA N°215/2010 fue aprovechar la infraestructura existente en un área industrial y portuaria consolidada, para aumentar la capacidad de producción de Pellet Feed de la Planta en 2,4 Mton/año, mediante una cuarta línea de molienda, y posteriormente aumentar el valor agregado del Pellet Feed, mediante una segunda línea de Peletización. Lo anterior, se suma a la producción que actualmente genera el proyecto; es decir, 5,3 Mton/año.

Por los antecedentes recabados, se estima que los principales tipos de contaminantes podrían ser:

- Material particulado sedimentable con fierro Magnetita ( $Fe_2O_4$ )
- Fósforo, vanadio y azufre (impurezas del mineral)
- Material particulado respirable  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$
- Metales en el agua por relaves depositados en el mar: cobre, cobalto, cromo, plomo, vanadio, níquel, plata, cadmio, y zinc<sup>12</sup>.
- Contaminación acústica (ruido de trenes)

## 2. Central Termoeléctrica Guacolda

---

<sup>12</sup> OCEANA (Enero 2019). Documento entregado a la Oficina de Partes de la SMA.

Esta Central inició operaciones el 2 de abril de 1992 y está ubicada 6 km al sudoeste de la ciudad de Huasco por la ruta C-468, en la península Guacolda (anterior isla Guacolda), la cual en 1960 fue unida al continente por la empresa CAP con el propósito de crear una bahía artificial<sup>13</sup>. Aporta al suministro eléctrico en el sector norte del Sistema Interconectado Central (SIC).

Esta estación opera en base a mezclas de carbón bituminoso y sub-bituminoso para producir potencia eléctrica para el sector minero. La generación de energía corresponde a la mayor fuente de emisiones en la zona en términos de gases (SOx, NOx), y su actividad de generación eléctrica ha sido siempre creciente desde sus inicios. La Central Termoeléctrica cuenta con 5 unidades generadoras. Las Unidades 1, 2, 3 y 4 de 154 MW de capacidad y la Unidad 5 de 168 MW, por lo que en total cuenta con una capacidad instalada de 764 MW (CNE, 2019).

El proceso se inicia con la llegada del carbón por vía marítima al puerto mecanizado Guacolda I y éste es descargado a la cancha de acopio por una correa transportadora. De ahí es tomada mediante cargadores frontales para alimentar los silos de acumulación de cada unidad, mediante una correa transportadora. El carbón en los silos es acumulado y enviado según demanda al sistema de pulverización para la inyección al interior del hogar de una caldera de poder. Dentro de dicho hogar, mediante una combustión controlada de los parámetros de inyección de aire sobrecalentado y cantidad de material inyectado hay una liberación de energía térmica para obtener vapor de agua a una presión superior a 170 bares y a una temperatura mayor a 500°C lo que denomina vapor de alta. Producto de la combustión se obtiene una ceniza la cual es conducida a una cancha de escoria para luego ser transportada a un vertedero de cenizas mediante el transporte de camiones Tolva.

El vapor a alta presión y la temperatura proveniente de la caldera, son conducidas a la turbina, donde se hace pasar haciendo girar los álabes<sup>14</sup>. A su vez, el eje al que están conectados los álabes mueve al generador eléctrico, mientras el vapor que ha pasado se expande perdiendo temperatura y presión. Desde el generador, la electricidad obtenida es llevada a los transformadores, para luego ser despachada al sistema interconectado central (SIC).

Desde la turbina, el vapor que sale, ingresa al condensador donde, mediante intercambio térmico con ductos que se mantienen a una baja temperatura gracias a un flujo de agua

---

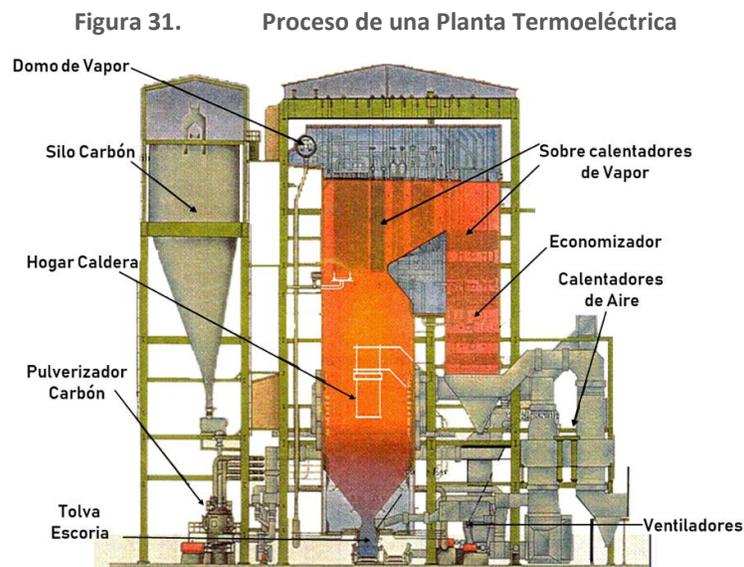
<sup>13</sup> OLCA (1993), Contaminación del Valle Huasco, parte II: termoeléctrica de Guacolda, recuperado de <http://olca.cl/articulo/nota.php?id=2361>

<sup>14</sup> Es la paleta curva de una turbomáquina o máquina de fluido rotodinámica.

fría en contracorriente obtenida del mar, es condensado obteniendo como resultado agua caliente, la cual es aprovechada como agua de reposición (make up) para la caldera. El condensador es necesario para lograr una operación eficiente al generar un gran diferencial de presión del vapor, bajando la presión de salida.

El agua caliente resultante del enfriamiento es pasada por unas torres de enfriamiento y devuelta al mar. Se requiere un flujo constante de agua de baja temperatura en los tubos del condensador para mantenerlo a una presión adecuada y asegurar así la generación de electricidad a una mayor eficiencia. Durante el proceso de condensación, el agua de enfriamiento se entibia, por lo cual se requiere de un manejo adicional de ésta, lo que termina definiendo la forma de enfriamiento de la central.

A continuación, se presenta un esquema de cómo funciona el proceso de una planta termoeléctrica.



Fuente: Gestión Ambiental Consultores (2008). Estudio de Impacto Ambiental "Central Termoeléctrica Cruz Grande"

Por los antecedentes recabados, se estima que los principales tipos de contaminantes asociados a esta Central son los siguientes:

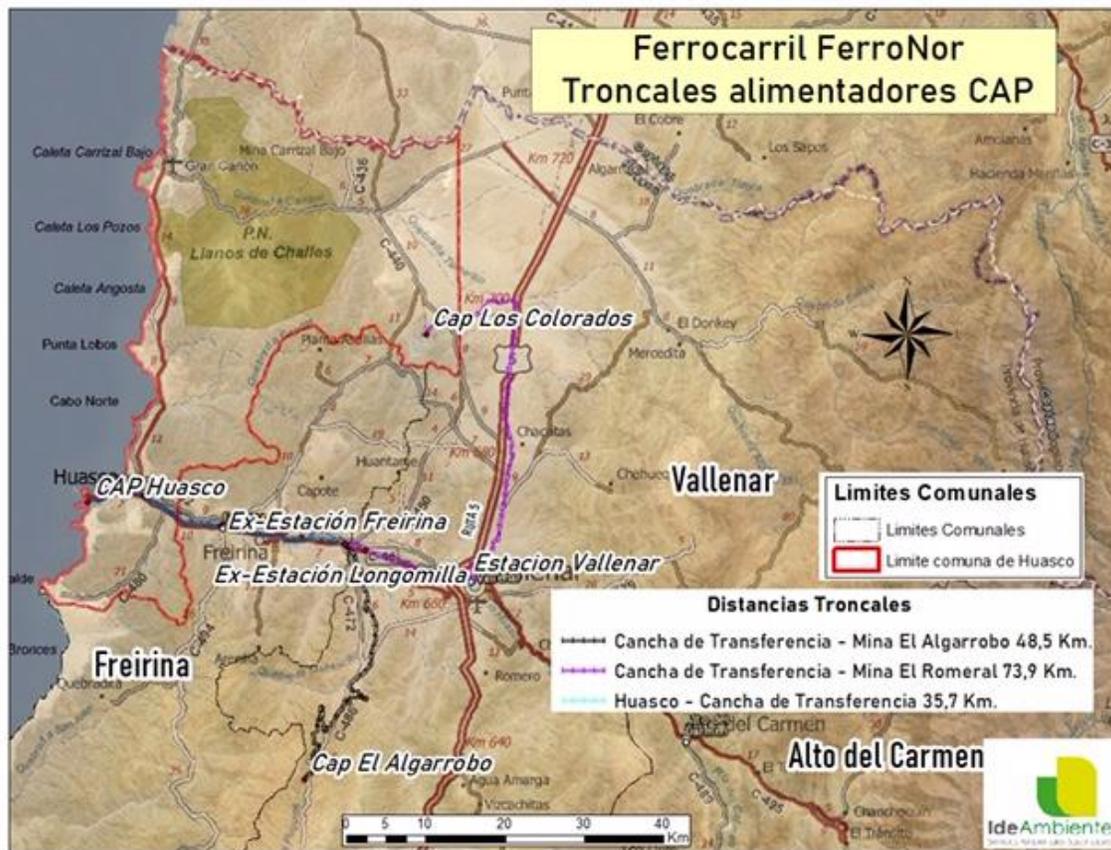
- Material particulado respirable MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>
- Cenizas volantes
- Gases (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematita))

- Silicio, Aluminio y Calcio<sup>15</sup>

### 3. Tránsito del Ferrocarril desde Mina Los Colorados a Planta de Pellet

El ferrocarril circula por un línea férrea de rieles de eje angosto, que tiene una longitud de aproximadamente 109 km. Diariamente se realizan entre 10 y 15 viajes de tren. Este tren es de propiedad de CAP S.A. A continuación se presenta un mapa con la línea férrea incluyendo los troncales:

Figura 32. Línea férrea por donde circula el ferrocarril de CAP S.A



Fuente: Elaboración propia en base a carta caminera MOP 2016

Las resoluciones de calificación ambiental RCA N°2015/2010 y RCA N°246/2010 de la empresa CAP S.A, fijan el número de vagones en 35 por tren. Por otra parte, en el Plan de Prevención de Contaminación de Huasco, el cual se encuentra en implementación, se

<sup>15</sup> DICTUC (2012). Estudio Para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco.

definen medidas que apuntan al encapsulamiento y sellado de los vagones, además de su lavado antes de salir al recorrido habitual entre mina Los Colorados y la Planta de Pellet.

Por los antecedentes recabados, se estima que los principales tipos de contaminantes podrían ser:

- Material particulado sedimentable con fierro Magnetita ( $Fe_2O_4$ )
- Fósforo, vanadio y azufre (impurezas del mineral)
- Material particulado respirable  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$

Figura 33. Vista aérea del tren CAP



Fuente: Fotografía aérea realizada por dron de IDEAMBIENTE.

#### 4. Estación de Transferencia de Minerales de Hierro, en Freirina sector Maitencillo

La Estación de Transferencia de Minerales de Hierro, cuenta con una superficie de 4,32 ha, y se localiza en el sector denominado Maitencillo ubicado a 17 Km. al oeste de la ciudad de Vallenar, cuya construcción y actividad se remonta al año 1950. Es una estación de transferencia que ha sido utilizada por diferentes faenas mineras como: Sositas y Huantemé. En la actualidad es utilizada por Mina Los Colorados y terceros que permiten asegurar el abastecimiento normal de minerales a Planta de Pellets. Cuenta con una cancha de acopio de minerales de una capacidad máxima estimada en 35.000 toneladas de concentrado de hierro.

El mineral es transportado desde los diferentes puntos de abastecimiento hasta la Estación de Transferencia mediante camiones que descargan su contenido en la cancha de acopio en donde es almacenado. Luego el mineral apilado, mediante la utilización de un cargador frontal, es llevado a los carros del ferrocarril para ser transportado a su destino final.

El material se humecta para disminuir la salida de material por dispersión aérea. Esta estación tiene por objetivo asegurar el abastecimiento alternativo de minerales de hierro a la Planta de Pellets en Huasco. Desde 2017 está sin uso aparente, sin embargo está disponible.

**Figura 34. Imágenes de algunas etapas de la estación de transferencia**

Forma de descarga a FFCC (antiguo) de camiones mediante plataforma	Descarga actual
	
<p>Fuente: DIA Proyecto Estación de Transferencia de Minerales de Hierro, Sector Maitencillo</p>	

Acopio de Minerales	Zona de Carguío de Trenes
	
<p>Fuente: DIA Proyecto Estación de Transferencia de Minerales de Hierro, Sector Maitencillo</p>	

Figura 35. Secuencia de los cambios experimentados en la Estación de Transferencia





Fuente: Imágenes google earth

## 5. Puertos/Terminals Marítimos

La ciudad de Huasco es un importante puerto de embarque de minerales. Existen 3 puertos que se describen a continuación:

### 5.1 Puerto Guacolda I<sup>16</sup>

Este puerto es de propiedad de la Central termoeléctrica Guacolda, y cuenta con un terminal mecanizado de descarga de 182 m. de longitud y 17,5 m. de ancho y cuenta con las condiciones geográficas y de calado para recibir buques de hasta 75.000 ton. El muelle cuenta con dos grúas con capacidad de 15 ton. cada una y razón de descarga de 1.500 ton/hrs en total. Los principales productos que se transportan y descargan son:

- Carbón
- Diesel

### 5.2 Puerto Guacolda II<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Comité Atacalar, Puertos de la Región de Atacama (2019) recuperado de [http://www.comiteatacalar.cl/articulos\\_ver.php?id=9](http://www.comiteatacalar.cl/articulos_ver.php?id=9). Atacalar: es una instancia de coordinación binacional que reúne al Gobierno Regional de Atacama (Chile) y a los Gobiernos Provinciales de Catamarca, La Rioja, Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba y Santa Fe (Argentina).

Este terminal está próximo a Planta de Pellets, al sur de la Bahía de Santa Bárbara, 4 km al sur de Puerto Huasco. Las instalaciones, operativas desde el año 1978, pueden recibir naves desde 20 mil toneladas métricas (TM) a 260.000 Ton, con un ritmo de embarque de 60 mil TM diarias de Pellets producto y 35 mil TM de Pellet Feed. La capacidad máxima es de 200.000 ton. Las instalaciones de apilamiento del puerto, consisten en dos canchas paralelas de norte a sur de 800 metros de largo, 50 metros de ancho, localizadas al norte de Planta de Pellets.

El Pellets producto es recuperado desde la cancha de almacenamiento por recuperadores de capachos montados sobre orugas, derivados a una transferencia móvil que se autodesplaza por rieles sobre la correa de embarque. El producto es transportado hasta la torre de embarque, cuya estructura cuenta con movimientos angulares en el plano horizontal y vertical.

Las instalaciones del puerto de embarque constan de una pluma de embarque soportada por pilotes tubulares de acero, formada principalmente por una estructura móvil con una pluma telescópica.

Este puerto fue cerrado en noviembre del año 2018, producto de un accidente fatal. Se espera la reanudación de sus actividades en septiembre del año 2019.

Los principales productos que se transportan y descargan son:

- Pellets de Hierro
- Diesel

### 5.3 Puerto Las Losas<sup>18</sup>

Este terminal marítimo se construyó en el año 2000 y es de propiedad de CAP y Agrosuper. Funciona como un terminal multipropósito dedicado a la descarga de graneles, pero también se especializa en el manejo de carga general y cargas de proyectos de inversión. Los principales productos que se descargan son:

- Agrícolas (maíz, porotos de soya, harinilla)

---

<sup>17</sup> CAP (2019), Puerto Guacolda II, recuperado de <http://www.capmineria.cl/capmineria/puerto-guacolda-ii/2018-09-25/111859.html>

<sup>18</sup> PLL (2019), Operaciones, recuperado de <https://puertolaslosas.cl/>

- Frutas
- Carbón, calizas, pellets
- Contenedores
- Cátodos de cobre y concentrado de cobre en contenederos
- Carga general

Producto del accidente fatal ocurrido en noviembre del año 2018 en el Puerto Guacolda II, en enero del 2019 la empresa CAP S.A inició maniobras de embarque de pellets de hierro, en el sitio 1 de este Puerto, el cual permite atender naves de hasta 60.000 toneladas<sup>19</sup>.

En las figuras siguientes, se presentan fotografías aéreas del Puerto Las Losas:

Figura 36. Imagen aérea de Puerto Las Losas y cancha de carguío



Fuente: Imagen sacada por dron IdeAmbiente, agosto 2019

## 6. Pasivos y Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes

---

<sup>19</sup> Radio Profeta (enero 2019), CAP Minería seguirá embarcando material por Puerto Las Losas de Huasco, recuperado de <http://www.radioprofeta.cl/cap-mineria-seguira-embarcando-material-por-puerto-las-losas-en-huasco/>

De acuerdo al Catastro Nacional de Depósitos de Relave, Depósitos activos y no activos, del año 2015, de SERNAGEOMIN, existen 4 depósitos los cuales se describen a continuación:

**Tabla 40. Depósitos de Relave de la comuna**

NOMBRE	EMPRESA	FAENA	TIPO DEPOSITO	UTM		RECURSO	ESTADO	RES. Nº
				NORTE	ESTE			
Capote	S/I	Soc Capote	Tranque de relave	6866547	308837	oro	Activo	S/I
Acopio producto	CAP	Planta pellets	En pasta	6848271	279380	hierro	Activo	S/I
S/I	Inversiones NUTRAM S.A	S/I	S/I	6879572	313674	S/I	S/I	S/I
Tranque de relave	CAP	S/I	Tranque de relave	6847564	279900	S/I	S/I	S/I

Fuente: Elaboración propia en base a Catastro Nacional de Depósitos de Relave, Depósitos activos y no activos de SERNAGEOMIN

Por su parte, el catastro de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes del MMA, contiene la siguiente información de los sitios en la comuna:

**Tabla 41. SPPC en la comuna**

NOMBRE	ID SPPC	AÑO INGRESO	UTM		ESTATUS	PROCESO ESPECIFICO
			NORTE	ESTE		
Escorial Sector Carrizal Alto	111	2012	6891350	312032	abandonado	Extracción minerales metálicos no ferreos, excepto minerales de uranio y torio
Botadero Municipal	132	2012	6847714	283321	Activo por sectores	Recogida y tratamiento de otros residuos
Basural Carrizal Bajo	150	2013	6888274	290093	abandonado	Recogida y tratamiento de otros residuos
Escorial carrizal Bajo	151	2013	6892056	288723	abandonado	Fundición de metales

Fuente: Elaboración propia en base a Catastro de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes del MMA

### **9.3 ACTIVIDAD 3. DETERMINAR CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES Y VARIABLES DE INTERÉS**

#### **9.3.1 PROPONER Y DESARROLLAR UN PLAN DE MUESTREO DE SUELOS**

En base a los antecedentes recopilados y analizados, se desarrolló un Plan de Muestreo de la matriz suelo, el cual, fue aprobado por la contraparte técnica. En ANEXO 8, se presenta el Plan en detalle.

Para la elaboración de dicho Plan, se consideraron las guías metodológicas de muestreo y de análisis químicos del MMA, y su contenido consideró lo siguiente:

- Focos de temas o problemas identificados vinculados con la calidad del suelo de la comuna
- Usos de suelo de la comuna (urbano/residencial, industrial y agrícola)
- Área de influencia de actividades productivas (al menos de la Central Termoeléctrica Guacolda y la planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico CMP (CAP))
- Tamaño de la comuna
- Componentes ambientales de interés (suelo)
- Hipótesis sobre la distribución de contaminantes
- Contaminantes de interés e indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad del suelo a analizar
- Medición de características edafológicas del suelo y parámetros fisicoquímicos in situ
- Cantidad, tipo y localización prevista de muestras
- Descripción de materiales y métodos para la extracción de las muestras
- Incorporación de aspectos estadísticos y de aseguramiento y control de calidad para la toma de muestras y su análisis
- Envío de muestras a laboratorio de análisis certificado
- Normativas y guías de referencia nacionales e internacionales

Las principales referencias metodológicas que se tomaron en consideración para la propuesta de Plan de Muestreo fueron las siguientes:

#### Referencias nacionales

- MMA (2013). Guía metodología para la gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes.

- MMA (2013). Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes.
- Normas chilenas de calidad de suelos:
  - NCh 2297: Calidad del suelo - Vocabulario
  - NCh 3400/1: Calidad del suelo - Directrices para el diseño de programas de muestreo
  - NCh 3400/2: Calidad del suelo - Directrices sobre técnicas de muestreo
  - NCh 3400/3: Calidad del suelo - Directrices de seguridad
- SEA (2012). Guía de evaluación de impacto ambiental - Riesgo para la salud de la población en el SEIA.
- MMA/IDEAMBIENTE (2017). Identificación de fuentes contaminantes y caracterización de suelos en la comuna de Coronel
- MMA/PGS (2015). Análisis técnico para suelos con presencia de metales pesados.

#### Referencias internacionales

- EPA, 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1 - Human Health Evaluation Manual, Part A – Baseline Risk Assessment
- EPA 600/8-89/046, 1989. Soil Sampling Quality Assurance User's Guide, Second Edition. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- EPA/600/SR-927128, 1992. Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies. United States Environmental Protection Agency.
- EPA/540/R95/128, 1996. Soil Screening guidance: Technical Background Document, United States Environmental Protection Agency.
- EPA, 9355.4-23, 1996. Soil Screening guidance: User's Guide, United States Environmental Protection Agency.
- IHOBE, 1998. Investigación de la Contaminación del Suelo - Guía Metodológica: Estudio Histórico y Diseño de Muestreo.
- EPA, 2001. Laboratory Documentation Required For Data Evaluation. Quality Assurance Office. San Francisco, California.
- EPA 120/R-07/001, 2007. Framework for Metals Risk Assessment
- EPA 2014. US New Jersey Department of Environmental Protection, Site Remediation Program. Data Quality Assessment And Data Usability Evaluation Technical Guidance.
- ATSDR E1527 – 13. Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process.
- ATSDR E1903 – 11. Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process.

En cuanto a la ubicación, distribución y cantidad de muestras de suelo, se ha considerado sectorizar la comuna de Huasco en función de los usos de suelo, considerando los de tipo industrial, agrícola y urbano/residencial, dado que en todos éstos las personas están en contacto con el suelo, existen focos de emisión y/o son de interés particular de los habitantes de la comuna (caso del uso agrícola).

Una vez definidas las zonas geográficas relevantes de ser cubiertas por el muestreo, se definieron las unidades de suelo a muestrear para cada zona, en base a su tipo (orden y series taxonómicas de suelo) y sus características de origen (geología). Es importante hacer notar que para poder efectuar un análisis estadístico de los datos, se debiera contar con poblaciones de muestras de similares características, dichas características se refieren a:

- Pertenecer a la misma unidad geológica a escala local
- Pertenecer a la misma unidad de suelo
- Similar cercanía a nivel freático y/o exposición a humedad superficial (riego, ríos y crecidas, etc)
- Baja variabilidad biológica
- Similares propiedades físicas

Dado que el área de estudio presenta suelos con características variables, el muestreo se dividió en subpoblaciones con el propósito de hacer una interpretación coherente con el objetivo del proyecto, que es identificar presencia de contaminantes en los suelos, y además evaluar si éstos se encuentran por sobre los niveles naturales o background. Las subpoblaciones fueron determinadas considerando zonas de similares características naturales de suelo, en términos de composición litológica, características físicas, químicas y de textura. Para esto se emplearon las series de suelos definidas en el estudio CNR/CICA (2002) que fue realizado a escala 20.000 y la geología regional SERNAGEOMIN existente para el área a escala 50.000 y 100.000.

Las series de suelo seleccionadas para tomar muestras en el área de uso agrícola son Bellavista, Freirina y Paona, que corresponden a suelos desarrollados en depósitos aluviales y fluviales. Dichas series fueron seleccionadas por las características que presentan, todas corresponden a suelos Entisoles que son suelos derivados de fragmentos de roca suelta, que están formados típicamente por arrastre y depósito de materiales sedimentarios que son transportados por la acción del agua. Son suelos jóvenes y sin

horizontes genéticos naturales (CNR/CICA 2002), todas ellas son coincidentes además con las unidades geológicas definidas por SERNAGEOMIN como depósitos fluviales. En el caso de las áreas de uso urbano/residencial e industrial, no hay información de series de suelo, por lo que este criterio no pudo ser considerado. Además, se debe tener presente que gran parte de la zona industrial se emplaza sobre rocas sin desarrollo de suelos, lo que limita la presencia de un sustrato que permita la toma de muestras. En cuanto a la geología, debido a que se trata de áreas acotadas, tampoco fue posible tomar en consideración las unidades geológicas<sup>20</sup>.

Para definir la localización prevista de las muestras dentro de las zonas de muestreo seleccionadas, primero en función del uso, y luego en función de sus características naturales en caso de ser posible (series y geología), se utilizó el modelo Montecarlo de QGIS (SIG), que localiza en forma aleatoria un número específico de puntos dentro de un polígono de referencia. Se definió una distancia mínima entre puntos (en este caso de 300 m) y se consideró un borde de seguridad (buffer) para las series, de modo de garantizar consistencia en la interpretación de los datos analíticos y evitar situaciones de límite entre series (en este caso se consideró un margen interno de 25 metros).

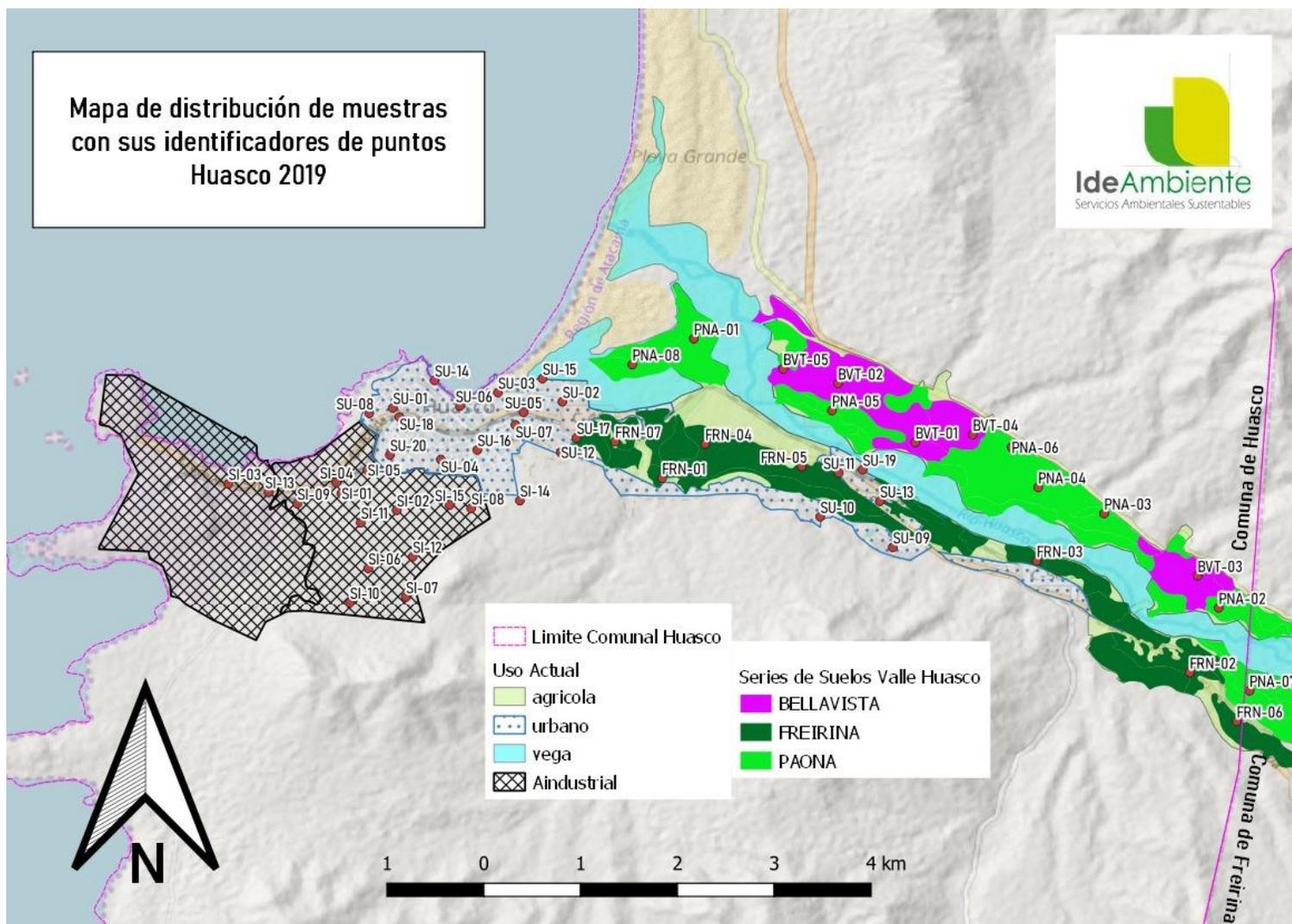
El primer paso del procesamiento es crear una secuencia de números aleatorios a partir de un generador de números aleatorios y una semilla. Al generar puntos aleatorios dentro de una extensión específica, se identifica un valor en el eje x y otro en el eje y de la extensión, que se convierten en las coordenadas x e y para un punto. Para seleccionar aleatoriamente el punto en el eje x, se selecciona el siguiente valor no utilizado en la secuencia de números aleatorios y se transforma en una distribución uniforme con un mínimo y un máximo para la extensión x. Lo mismo se hace para el eje y. Los dos valores identifican el primer punto aleatorio. Este proceso se repite hasta que se alcanza el número especificado de puntos.

En función de lo anterior, a continuación, se exhiben 3 mapas de la ubicación de las muestras a extraer (Figuras 37, 38 y 39) y luego una Tabla (Tabla 42) con sus respectivas coordenadas.

---

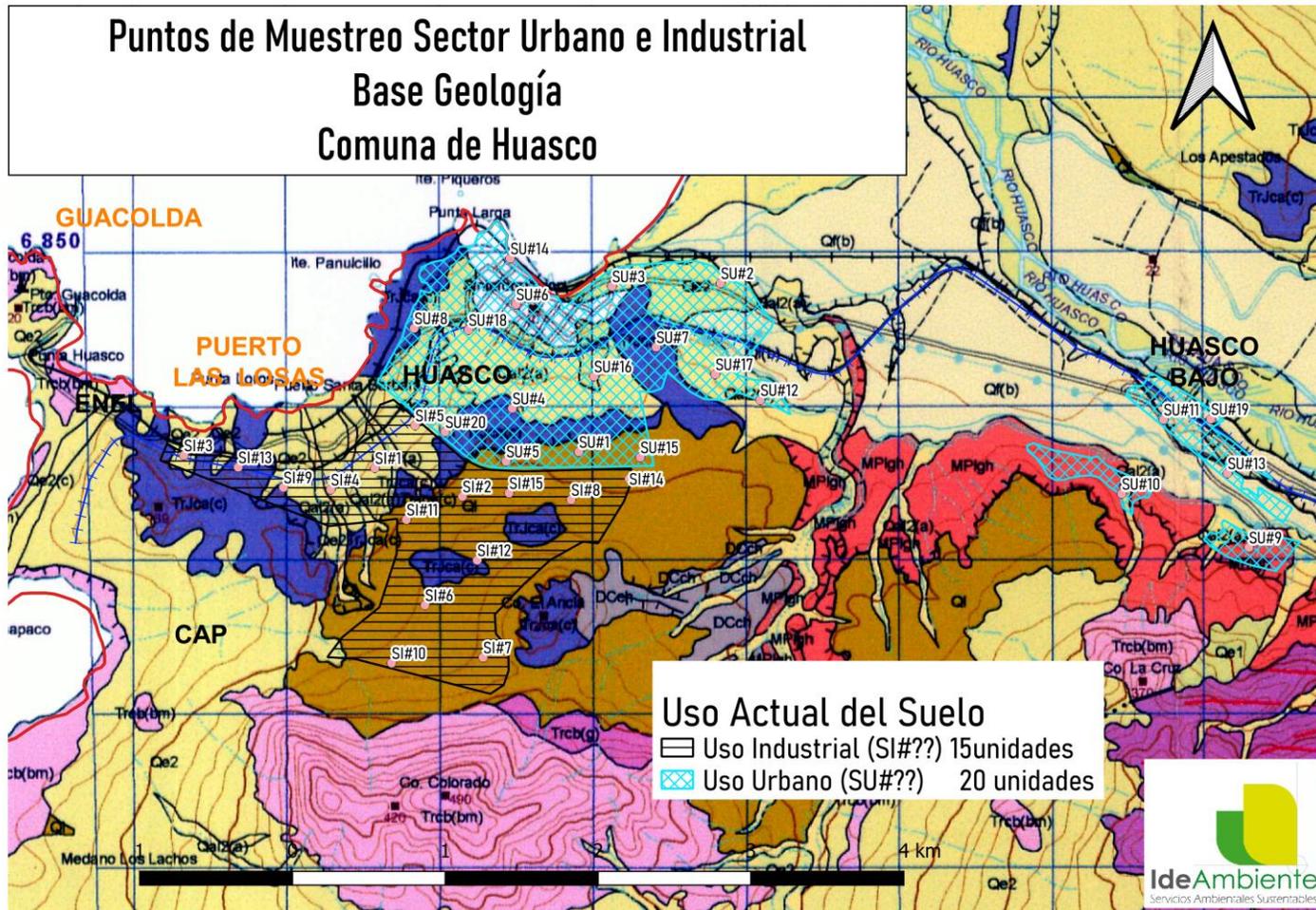
<sup>20</sup> Esto porque la superficie que ocupan los depósitos aluviales y fluviales en áreas de uso urbano/residencial e industrial son muy pequeñas y las muestras quedarían muy próximas entre sí.

Figura 37. Muestreo propuesto en áreas de uso urbano, agrícola e industrial, según usos de suelo



Fuente: Elaboración propia en base a CNR/CICA (2002)

Figura 38. Muestreo propuesto en áreas de uso urbano e industrial, según geología.



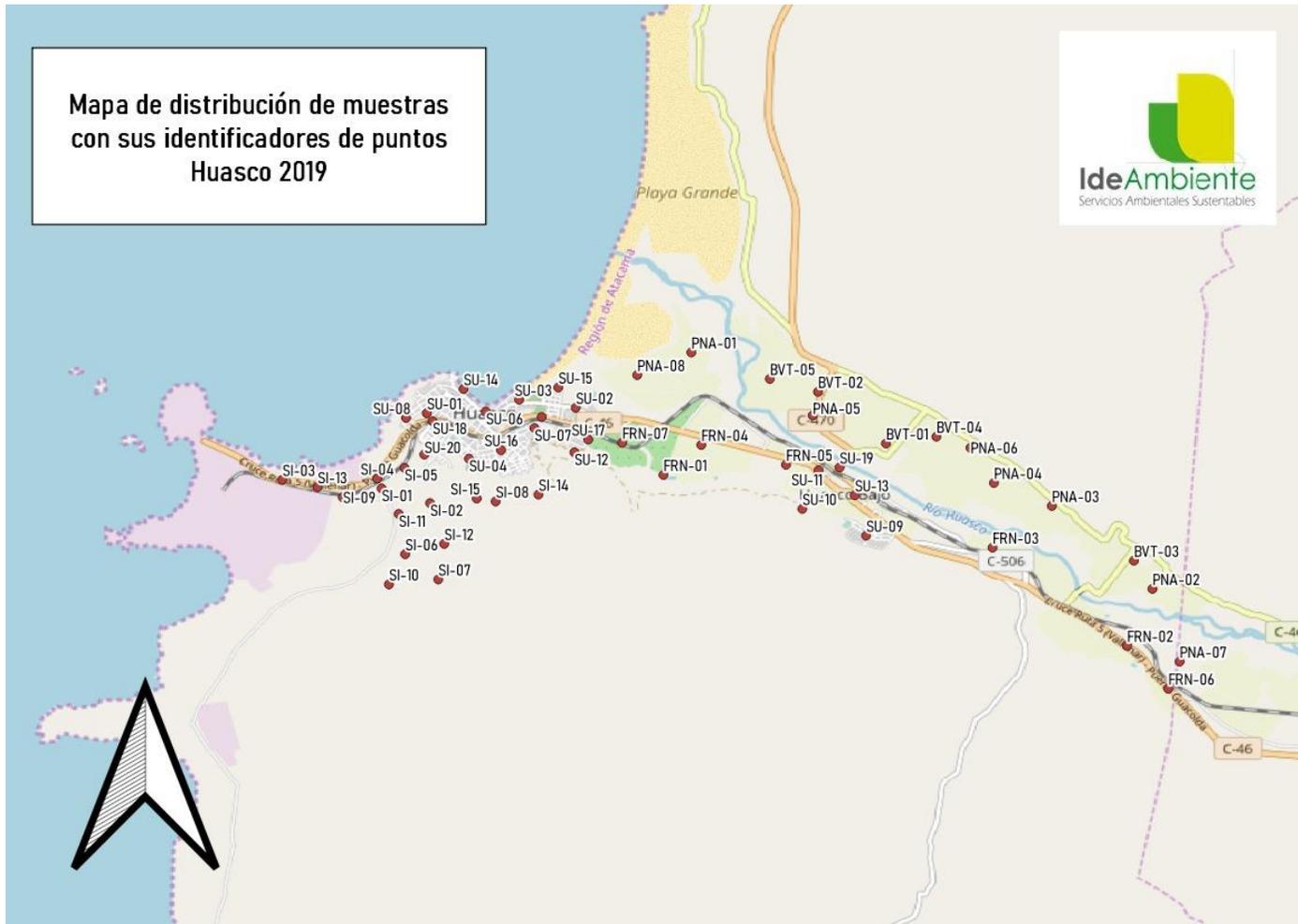
Fuente: Elaboración propia en base a SERNAGEOMIN (2004)

A continuación, se describe la geología de los suelos de la comuna de Huasco:

	Qf	Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.
	Qe	Depósitos eólicos: arenas gruesas y finas de cantos redondeados, conformadas por acumulaciones en dunas y otros depósitos menores.
	Ql	Depósitos lacustres, arenas y limos estratificados
	Qal2	Depósitos Aluviales Qal Sedimentos no cohesivos a moderadamente consolidados, constituidos por bloques, ripios, gravas, arenas y limos, Qal2(a) Depósitos Aluviales Activos, morfología de abanico debido a la acción erosiva de cauces aluviales activos, Están formados por bloques, ripios, gravas y arenas, mal redondeadas y seleccionadas, contenidos en una matriz de arena y arcilla. Forman bancos polimícticos de espesores de menos de un metro, en parte con base cóncava y techo plano, mal a moderadamente estratificados, con una característica caótica interna, propia de los depósitos de flujos de detritos. Se interestratifican con sedimentos mejor estratificados, de gravas y arenas.
	DCch	Complejo Epimetamórfico Chañaral está compuesto por metaareniscas, cuarcitas, pizarras y filitas. Las rocas, en general, están afectadas por metamorfismo de bajo a muy bajo grado, representado por la asociación cuarzo, albita, clorita, muscovita y calcita. En los afloramientos costeros se sobrepone una foliación penetrativa, que transpone la estratificación original, aunque no logra modificar la angularidad de los granos sedimentarios ni tampoco recrystalizar la mica blanca detrítica
	TrJca(c)	Rocas Sedimentarias y Volcánicas correspondientes a la Formación Canto del Agua (TrJca) que corresponde a una secuencia sedimentaria marina y volcánica, bien estratificada de areniscas, conglomerados, lutitas, calizas y calcarenitas fosilíferas.
	Trcb(bm)	Complejo Intrusivo Carrizal Bajo Biotita fina de origen corneo en delgados bancos de chert.

Fuente: SERNAGEOMIN Carta Geológica Huasco

Figura 39. Localización de muestras



Fuente: Elaboración propia

La localización específica de las muestras de suelo por uso, se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 42. Localización de muestras propuestas – áreas de impacto/uso**

Nº	NOMBRE	SERIE	USO	COORDENADAS	
				UTM X	UTM Y
1	BVT-1	BELLAVISTA	AGRÍCOLA	287300.63	6848935.35
2	BVT-2	BELLAVISTA	AGRÍCOLA	286488.34	6849608.78
3	BVT-3	BELLAVISTA	AGRÍCOLA	290245.27	6847429.66
4	BVT-4	BELLAVISTA	AGRÍCOLA	287892.30	6849037.35
5	BVT-5	BELLAVISTA	AGRÍCOLA	285918.79	6849769.42
6	FRN-1	FREIRINA	AGRÍCOLA	284690.00	6848469.95
7	FRN-2	FREIRINA	AGRÍCOLA	290184.50	6846297.21
8	FRN-3	FREIRINA	AGRÍCOLA	288562.67	6847590.07
9	FRN-4	FREIRINA	AGRÍCOLA	285128.21	6848877.04
10	FRN-5	FREIRINA	AGRÍCOLA	286130.18	6848631.12
11	FRN-6	FREIRINA	AGRÍCOLA	290679.70	6845735.35
12	FRN-7	FREIRINA	AGRÍCOLA	284197.28	6848888.47
13	PNA-1	PAONA	AGRÍCOLA	284988.59	6850105.01
14	PNA-2	PAONA	AGRÍCOLA	290469.87	6847058.36
15	PNA-3	PAONA	AGRÍCOLA	289266.75	6848139.84
16	PNA-4	PAONA	AGRÍCOLA	288579.33	6848433.37
17	PNA-5	PAONA	AGRÍCOLA	286431.84	6849292.07
18	PNA-6	PAONA	AGRÍCOLA	288296.04	6848896.28
19	PNA-7	PAONA	AGRÍCOLA	290806.07	6846097.03
20	PNA-8	PAONA	AGRÍCOLA	284358.21	6849792.56
21	SI-1	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281378.65	6848230.28
22	SI-2	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281952.32	6848044.40
23	SI-3	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	280208.08	6848321.32
24	SI-4	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281323.90	6848358.25
25	SI-5	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281642.46	6848508.60
26	SI-6	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281671.86	6847360.06
27	SI-7	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	282066.94	6847031.57
28	SI-8	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	282723.11	6848080.88
29	SI-9	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	280924.15	6848102.01
30	SI-10	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281488.62	6846955.41
31	SI-11	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	281585.62	6847893.02
32	SI-12	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	282128.59	6847505.16
33	SI-13	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	280624.51	6848231.92
34	SI-14	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	283225.09	6848181.73
35	SI-15	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	282499.92	6848116.22
36	SU-1	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	281891.53	6849239.46
37	SU-2	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	283642.78	6849343.75
38	SU-3	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	282974.94	6849438.12
39	SU-4	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	282399.08	6848644.49

Nº	NOMBRE	SERIE	USO	COORDENADAS	
				UTM X	UTM Y
40	SU-5	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	283244.48	6849213.60
41	SU-6	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	282585.78	6849274.36
42	SU-7	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	283161.68	6849065.03
43	SU-8	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	281649.19	6849171.77
44	SU-9	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	287089.25	6847705.32
45	SU-10	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	286332.45	6848048.12
46	SU-11	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	286514.45	6848565.28
47	SU-12	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	283637.57	6848751.83
48	SU-13	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	286946.29	6848240.52
49	SU-14	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	282317.28	6849568.41
50	SU-15	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	283432.09	6849610.02
51	SU-16	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	282774.23	6848765.23
52	SU-17	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	283797.18	6848924.55
53	SU-18	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	281961.30	6849134.03
54	SU-19	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	286760.13	6848606.49
55	SU-20	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	281871.62	6848689.42

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto la profundidad de las muestras de suelo, se consideró extraer muestras de suelo superficial (0-20 cm), dado que se trata del estrato con el que personas pueden estar en contacto, y por tanto, aquel relevante en términos de exposición a contaminantes.

Adicionalmente, se consideró un 10% de muestras duplicado, según lo recomendado por US EPA Región 4 (2017)<sup>21</sup>, las cuales corresponden a 7 muestras de suelo. A continuación, se presentan las muestras duplicados:

Tabla 43. Muestras duplicado

Nº	NOMBRE	MUESTRA ORIGINAL	SERIE	USO	COORDENADAS	
					UTM X	UTM Y
1	SI-16	SI-9	SIN SERIE DEFINIDA	INDUSTRIAL	280924.15	6848102.01
2	SU-21	SU-16	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	282774.23	6848765.23
3	SU-22	SU-18	SIN SERIE DEFINIDA	URBANO	281961.30	6849134.03
4	FRN-8	FRN-5	FREIRINA	AGRÍCOLA	286130.18	6848631.12
5	FRN-9	FRN-6	FREIRINA	AGRÍCOLA	290679.70	6845735.35
6	BKG CHA 20	BKG CHA 5	CHAÑAR	BACKGROUND	338079.84	6827375.27
7	BKG HSC 19	BKG HSC 16	HUASCO	BACKGROUND	374737.02	6806602.09

Fuente: Elaboración propia

<sup>21</sup> US EPA Región 4 (2017). Field sampling quality control. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/field\\_sampling\\_quality\\_control011\\_af.r5.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/field_sampling_quality_control011_af.r5.pdf)

### 9.3.1.1 Ejecución del Plan de Muestreo

El Plan de muestreo se efectuó en dos etapas, la primera entre el 11 y 12 de septiembre y la segunda, entre el 24 y 25 de septiembre de 2019. En la primera fecha se realizó la toma de muestras residenciales e industriales, mientras que en la segunda se tomaron las muestras agrícolas. Es importante recalcar, que el Plan pudo ser aplicado de acuerdo a lo previsto, sin modificaciones respecto a la propuesta planteada, salvo algunos puntos que tuvieron que correrse un poco debido a que quedaban dentro de propiedades, y en otros no se obtuvo la autorización.

La contraparte técnica del estudio, coordinó la participación de algunos integrantes del CRAS al desarrollo de la segunda parte del muestreo. Específicamente participaron de la toma de muestras agrícolas el día 25 de septiembre 2019. A continuación, se presentan fotografías de la actividad con los integrantes del CRAS.

Figura 40. Imágenes de la participación de integrantes del CRAS en el muestreo





A continuación, en las tablas 44, 45 y 46 se presenta un registro de las tomas de muestra por uso de suelo, incluyendo especificaciones de su localización e imágenes fotográficas.

Tabla 44. Registro de muestras industriales

Nombre muestra	Coordenadas		Especificación de localización	Imágenes	
SI-1	281378.65	6848230.28	Sector industrial hacia propiedad de CAP		
SI-2	281952.32	6848044.41	Terreno CAP		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SI-3	280208.08	6848321.32	Lado línea férrea antigua y bajo línea nueva		
SI-4	281323.90	6848358.25	Cerca línea férrea		
SI-5	281642.46	6848508.60	Límite sector urbano industrial (microbasural)		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SI-6	281671.86	6847360.06	Sector camino naranja		
SI-7	282066.94	6847031.57	Sector depósitos de áridos CAP		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SI-8	282723.11	6848080.88	Sitio sin tránsito de camiones		
SI-9	280924.15	6848102.01	Sobre línea de tren y cerca de Puerto Las Lozas		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SI-10	281488.62	6846955.41	Sitio atrás de CAP		
SI-11	281585.62	6847893.02	Sitio CAP		
SI-12	282128.59	6847505.16	Sector CAP		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SI-13	280624.51	6848231.92	Cerca ruta C-468		
SI-14	283225.09	6848181.73	Zona alta		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SI-15	282499.92	6848116.22	Límite zona urbana		
-------	-----------	------------	--------------------	--	---

Tabla 45. Registro de muestras urbanas/residenciales

MUESTRAS URBANAS/RESIDENCIALES				
Nombre muestra	Coordenadas		Especificación de localización	Imágenes
SU-1	281891.53	6849239.46	Calle Matta (entre Chacabuco y Miramar)	 
SU-2	283642.78	6849343.75	Calle Ignacio Carrera Pinto con Vicente Huidobro. Cerca Liceo Japón C-9	 

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-3	282974.94	6849438.12	Dentro del Hospital de Huasco Manuel Magalhaes Medling		
SU-4	282399.08	6848644.49	Cerca Estadio Guacolda y Cementerio (Calle Cautín con Pasaje Tamarugo)		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-5	283244.48	6849213.60	Costado ruta C-46, y la línea férrea. Cerca estación de servicios SHELL		
SU-6	282585.78	6849274.36	Plaza de Huasco		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-7	283161.68	6849065.03	Plaza Camino de Luna con calle Altaira. Sector Los Pacachos Negros		
SU-8	281649.19	6849171.77	Calle Miramar cerca de Intersección con calle Los Lirios (Población Huasco II)		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-9	287089.25	6847705.32	Plaza en Calle Los Olivos Siete (sector Huasco Bajo)		
SU-10	286332.45	6848048.12	Sitio localizado al fondo del Callejón Lo Martinez en Huasco Bajo (sector sur)		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-11	286514.45	6848565.28	<p>Sitio localizado en la Ruta C-46, donde hay un cartel que indica Huasco Bajo. Está al frente del Callejón Lo Martínez</p>		
SU-12	283637.57	6848751.83	<p>Sector toma Hijos de Atacama, específicamente en plaza 29 de octubre</p>		
SU-13	286946.29	6848240.52	<p>Calle paralela a la C46 y a calle Colo Colo, en sector Huasco Bajo, lado norte.  Es una calle que no tiene nombre.</p>		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-14	282317.28	6849568.41	Localizado en la costanera (al centro), cerca del estadio Techado Municipal		
SU-15	283432.09	6849610.02	Localizado al final de la costanera (sector norte del Faro)		
SU-16	282774.23	6848765.23	Plaza en calle Las Heras. Al frente de la Escuela José Miguel Carrera F-63		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

SU-17	283797.18	6848924.55	Población Villa Victoria. Calle Puerto Viejo 129		
SU-18	281961.30	6849134.03	Sitio cerca de la Línea del tren, y cerca de jardín Infantil Condell Sur Integra en calle Guacolda		
SU-19	286760.13	6848606.49	Bomberos Huasco Bajo		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

					
SU-20	281871.62	6848689.42	Límite con zona industrial y cerca de un basural		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Registro de Muestras Agrícolas

MUESTRAS AGRÍCOLAS				
Nombre muestra	Coordenadas		Especificación de localización	Imágenes
BVT-1	287300.63	6848935.35	Sector La Arena	 
BVT-2	286488.34	6849608.78	Casa localizada en la esquina de C-470 y Callejón La Cachina	 

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BVT-3	290245.27	6847429.66	Casa localizada en la ruta C-462		
BVT-4	287892.30	6849037.35	Fundo La Arena		
BVT-5	285918.79	6849769.42	Callejón La Cachina		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

FRN-1	284690.00	6848469.95	Sector Tranque		
FRN-2	290184.50	6846297.21	Sitio al borde de la C-46, por al frente de la entrada a calle Vecinal		
FRN-3	288562.67	6847590.07	Venta de Aceitunas Manuel Gonzalez		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

FNR-4	285128.21	6848877.04	Cabañas San Fernando		
FNR-5	286130.18	6848631.12	Payantume		
FNR-6	290679.70	6845735.35	Al costado de ruta C-46		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

FRN-7	284197.28	6848888.47	Sitio al frente del Parque a la entrada de Huasco		
PNA-1	284988.59	6850105.01	Sector Estadio		
PNA-2	290469.87	6847058.36	Sitio cerca de Ruta C-462		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

PNA-3	289266.75	6848139.84	Fundo Montt. Sector La Arena		
PNA-4	288579.33	6848433.37	Fundo Montt. Sector La Arena		
PNA-5	286431.84	6849292.07	Sector Las Rosas		

**Informe Final**

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

PNA-6	288296.04	6848896.28	Fundo Los Toros		
PNA-7	290806.07	6846097.03	Sector Las Tablas		
PNA-8	284358.21	6849792.56	Sector Estadio		

Fuente: Elaboración propia

En ANEXO 9, se presentan las fichas que fueron llenadas para cada una de las muestras con información recabada durante el muestreo, así como las fotografías tomadas durante la ejecución del Plan de Muestreo.

### 9.3.2 PROPONER Y DESARROLLAR UN PLAN DE MUESTREO DE VALORES BASE (BACKGROUND)

Para definir la ubicación de las muestras background se tomó en consideración las series de suelos presentes en el valle del río Huasco, obtenidas del estudio CNR/CICA (2002), las cuales corresponden a suelos del orden de taxonomía entisol. Debido a que en las zonas no afectadas por las fuentes de contaminación de la comuna, no se encuentran presentes las series de suelo Bellavista, Freirina y Paona (series de suelos consideradas para definir la localización de las muestras en las áreas de impacto/uso agrícola), se seleccionó la serie Tatara, la cual pertenece a la misma orden taxonómica, y es la única presente en el valle en un área sin efectos aparentes de las fuentes de contaminación (de la comuna), la cual se ubica aguas arriba del río Huasco, después de la ciudad de Vallenar. Los puntos de muestreo background definidos se encuentran cercanos a zonas de uso agrícola, por lo que al momento de tomar las muestras se intentará tomarlas lo más alejado posible de las áreas de cultivo y de las zonas con intervención antrópica.

Adicionalmente, se consideran otras series de suelo presentes en la provincia de Huasco que no servirán como background para este estudio, pero que servirán para caracterizar background para estudios futuros. Las series de suelo considerados son los siguientes: La Compañía, Buena Esperanza, Chañar, Chancoquin, Huasco y Ventanas.

A continuación, se presenta un resumen de la información de las series de suelo que se analizan en este estudio:

**Tabla 47. Características de las series de suelo de la provincia de Huasco**

SERIE	FAMILIA	ORDEN
Bellavista (BVT)	Limoso fino mixto (calcáreo), térmico	Entisol
Buena Esperanza (BEZ)	Arcilloso sobre franco esquelético, térmico	Aridisol
Cavanha (CVN)	Franco fino, mixto (calcáreo), térmico	Aridisol
Chancoquin (CQN)	Franco fino, mixto (calcáreo), térmico	Aridisol
Chañar (CHA)	Franco grueso, sobre esquelético, mixto, térmico	Aridisol
Freirina (FRN)	Franco grueso, sobre esquelético, térmico	Entisol
Huasco (HSC)	Franco grueso, sobre esquelético, mixto, térmico	Aridisol

La Compañía (LCM)	Franco fino, esquelético, carbonático, térmico	Aridisol
Paona (PNA)	Franco grueso, mixto (calcáreo), térmico	Entisol
Tatara (TTR)	Franco esquelético, mixto (calcáreo)	Entisol
Ventanas (VTN)	Franco grueso, carbonático, térmico	Aridisol

Fuente: Elaboración propia en base a estudio CNR/CICA (2002)

### 9.3.2.1 Ejecución del Plan de Muestreo Background

Este Plan de muestreo se efectuó en la segunda etapa, es decir desde el 24 y 25 de septiembre de 2019. En la tabla siguiente, se presentan los puntos background escogidos para este estudio:

Tabla 48. Localización de muestras propuestas – área background

Nº	Base Referencial	Punto Muestra	Comuna	UTMxCoord	UTMyCoord
1	Serie Freirina	BKG FRN-9	Freirina	304899.31	6842461.47
2	Serie Tatara	BKG TTR-1	Freirina	304057.81	6844174.10
3	Serie Freirina	BKG FRN-6	Freirina	290775.79	6845526.51
4	Serie Paona	BKG PNA-10	Freirina	292588.94	6846137.28
5	Serie La Compañía	BKG LCM-11	Freirina	301047.52	6843643.72
6	Serie Buena Esperanza	BKG BEZ-12	Freirina	303873.67	6842939.65
7	Serie Tatara	BKG TTR-2	Vallenar	332492.68	6833844.66
8	Serie Chañar	BKG CHA-5	Vallenar	338079.84	6827375.27
9	Serie Huasco	BKG HSC-7	Vallenar	325951.38	6837555.34
10	Serie Ventanas	BKG VTN-13	Vallenar	314396.08	6843876.82
11	Serie La Compañía	BKG LCM-14	Vallenar	326454.30	6835902.46
12	Serie Paona	BKG PNA-15	Vallenar	326321.74	6838044.12
13	Serie Huasco	BKG HSC-8	Alto del Carmen	357609.13	6798325.91
14	Serie Chañar	BKG CHA-3	Alto del Carmen	357687.10	6798346.01
15	Serie Chancoquin	BKG CQN-4	Alto del Carmen	368488.91	6810472.39
16	Serie Huasco	BKG HSC-16	Alto del Carmen	374737.02	6806602.09
17	Serie Chañar	BKG CHA-17	Alto del Carmen	355265.70	6818447.23
18	Serie Chancoquin	BKG CQN-18	Alto del Carmen	383226.96	6793741.62

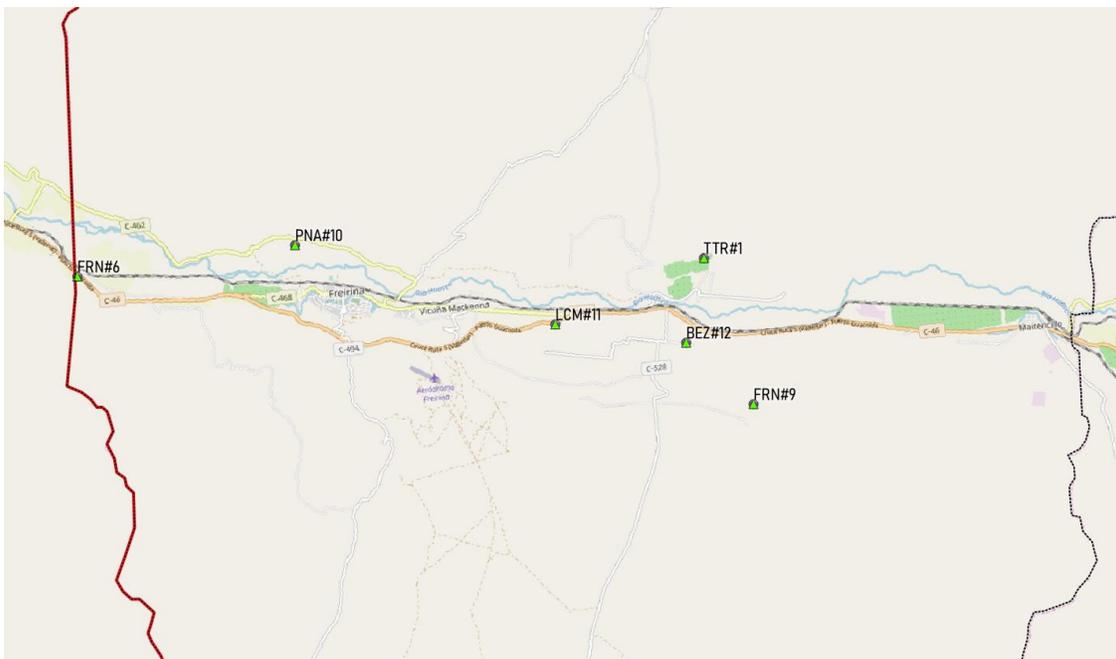
En las figuras siguientes, se presenta un mapa con los puntos background tomados. El primero presenta la distribución de muestras en toda la provincia de Huasco, y el resto las muestras por comuna.

Figura 41. Muestras background en toda la provincia de Huasco



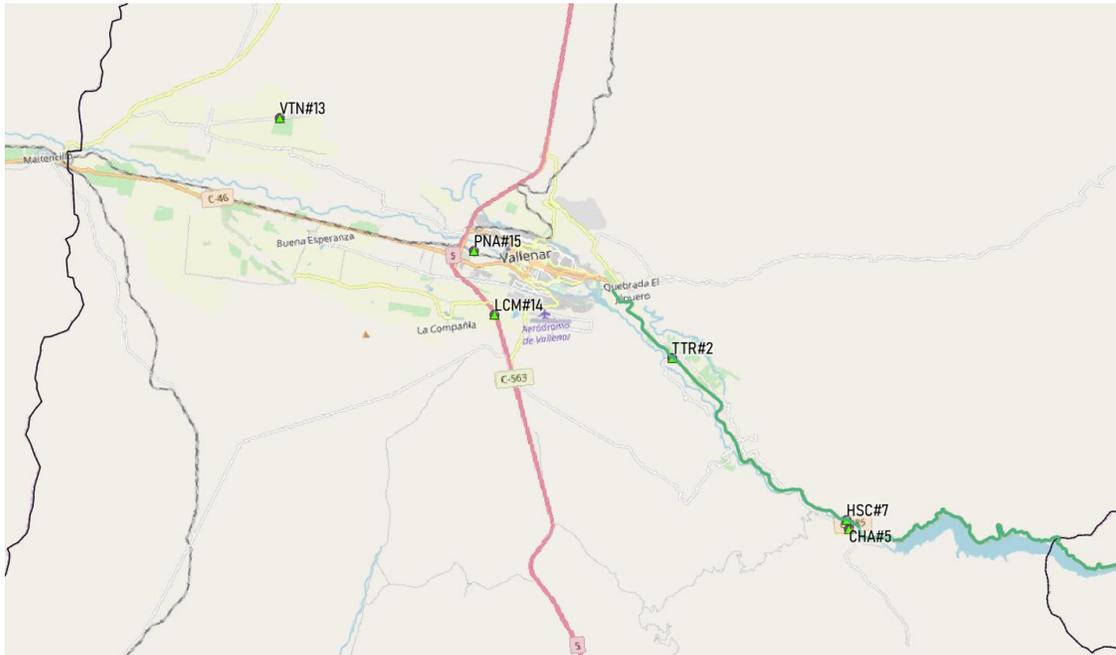
Fuente: Elaboración propia en base a imagenes google earth

Figura 42. Muestreo en áreas background comuna de Freirina



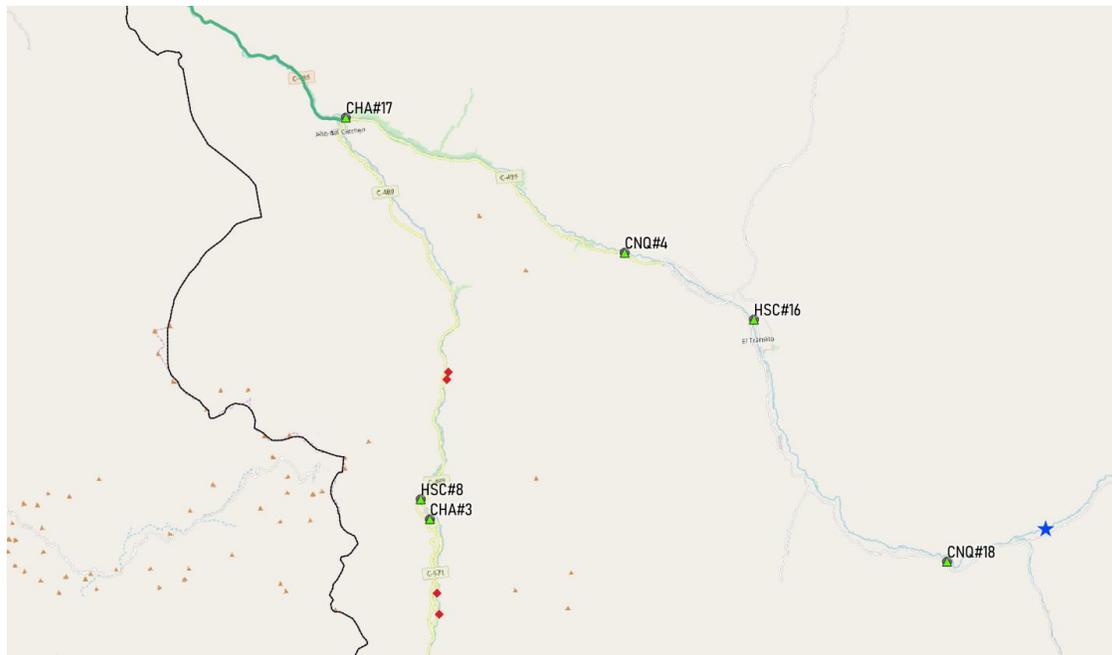
Fuente: Elaboración propia en base a imagenes google earth

Figura 43. Muestreo en área background comuna de Vallenar



Fuente: Elaboración propia en base a imagenes google earth

Figura 44. Muestreo en área background comuna de Alto del Carmen



Fuente: Elaboración propia en base a imagenes google earth

A continuación, se presenta un registro de la toma de dichas muestras, realizado el día 24 y 25 de septiembre de 2019.

Tabla 49. Registro de toma de muestras Background

MUESTRAS BACKGROUND				
Nombre muestra	Coordenadas		Especificación de localización	Imágenes
BKG TTR-1	304166.73	6844130.93	Cerca de Rodeo, Hacienda Atacama. Freirina	 
BKG TTR-2	332492.68	6833844.66	Sitio al costado de la ruta C-48. Cercano a Vallenar	 

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG CHA-3	357687.10	6798346.01	Fundo Horcon Quemado. Alto del Carmen		
BKG CNQ-4	368488.91	6810472.39	Costado ruta C-495. Alto del Carmen		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG CHA-5	338079.84	6827375.27	Sector Las Bombas. Soc. Monsalve y Debia Ltda.		
BKG FRN-6	290775.79	6845526.51	Fundo El Mirador. Lado Sur ruta C-46. Huasco-Freirina		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG HSC-7	325951.38	6837555.34	Fuera del Condominio Las Pircas. Vallenar		
BKG HSC-8	357609.13	6798325.91	Cerca de la Tienda de Horcón Quemado. Sector Félix.		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG FRN-9	304899.31	6842461.47	Ruta C-46. Freirina		
BKG PNA-10	292588.94	6846137.28	Ruta C-462, paralela al río Huasco		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG LCM-11	301047.52	6843643.72	Sitio al costado de bypass Freirina y cerca ruta C-46		
BKG BEZ-12	303873.67	6842939.65	Cerca de calle Nicolasa, y ruta C-532		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG VTN-13	314396.08	6843876.82	Ruta C-450		
BKG LCM-14	326454.30	6835902.46	Sitio al lado de Panamericana 5 Norte. Entrada a Vallenar		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG PNA-15	326321.74	6838044.12	Cerca línea de tren, a la entrada de Vallenar		
BKG HSC-16	374737.02	6806602.09	Sitio al lado del Camino El Tránsito. Alto del Carmen		

Informe Final

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

BKG CHA-17	355265.70	6818447.23	Fundo Ramadilla. Alto del Carmen		
BKG CNQ-18	383226.96	6793741.62	Sitio al costado ruta C-495.		

Fuente: Elaboración propia.

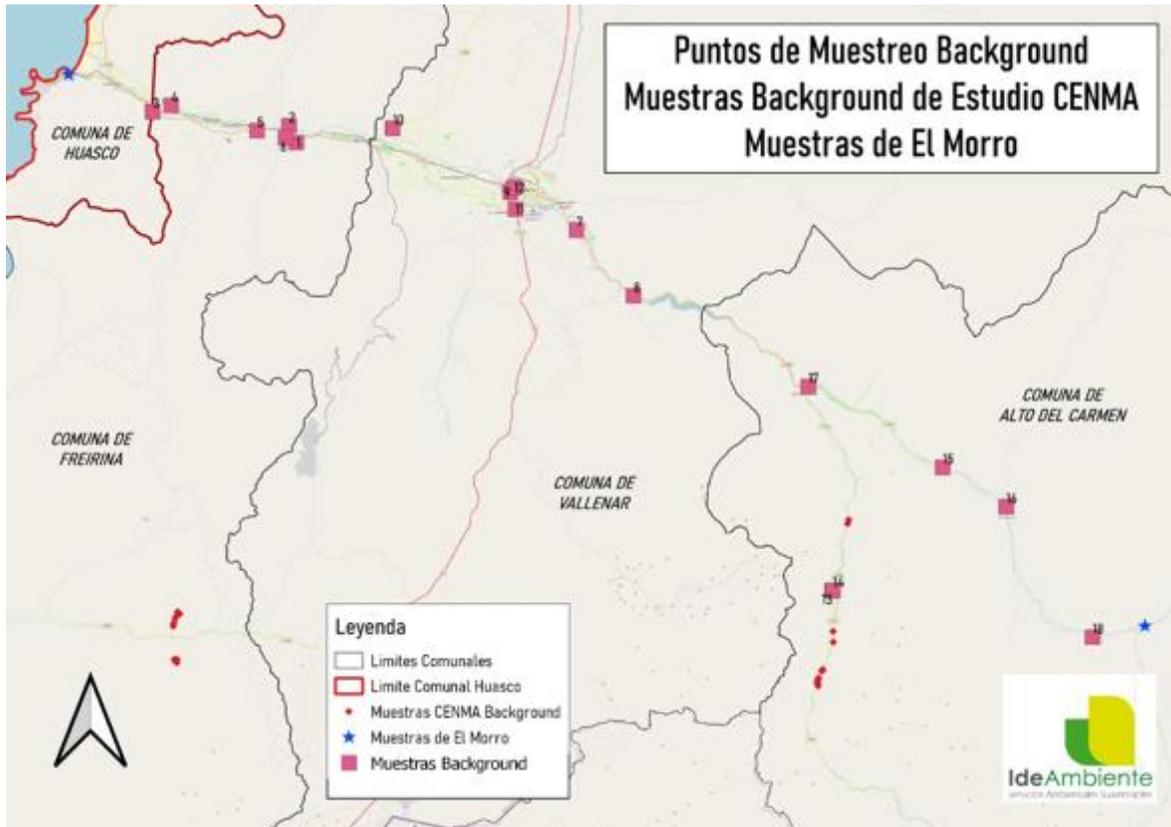
Para orientar la localización y cantidad de muestras background, de manera de complementar la información existente, se utilizó el estudio MMA/CENMA(2017), el cual considera 36 muestras y 4 duplicados background.

La información de las coordenadas y localización de las muestras background de dicho estudio, se presentan en la Tabla 48 y Figura 45 de este informe. Por otro lado, en Tabla 68 y 69 se presentan los resultados/concentraciones de cada muestra background tomadas en el marco de este estudio y, su estadística descriptiva respectivamente.

Otro estudio que se consideró como muestra background, es el EIA Proyecto El Morro, donde se indica un muestreo de suelos realizado en el área del proyecto, en donde se determinaron las concentraciones de los siguientes elementos químicos: Cobre (Cu), Hierro (Fe), Molibdeno (Mo), Arsénico (As), Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Sílice (Si) , Manganeso (Mn) y Zinc (Zn). Este estudio está descrito en la tabla 16 del presente informe. Las muestras fueron tomadas antes de la ejecución del proyecto y en zonas lejanas a la potencial influencia de las fuentes de contaminación de la comuna de Huasco, por lo tanto, para este estudio, se puede considerar.

A continuación, se presenta un mapa con el resumen de todas las muestras background que se usaron y analizaron para determinar un background para la Provincia de Huasco.

Figura 45. Localización de todos los background que se usaron para análisis



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de google earth

Este Plan también fue consensado y aprobado por la contraparte técnica previo a su implementación.

### 9.3.3 ANALIZAR EN LABORATORIO LAS MUESTRAS EXTRAÍDAS

Los análisis de todas las muestras (metales, pH y CE) se realizaron en el laboratorio SGS Chile limitada, que presta servicios de análisis en el área ambiental y se encuentra certificada bajo ISO 9001 y acreditado por INN. La certificación vinculada a análisis en suelos es la siguiente (sede Santiago):

LE118 Área Química para suelos, lodos y risés, disponible en:

<http://acreditacion.innonline.cl/PDF.aspx?ID=1055&ac=0>

Los análisis químicos considerados se indican en la tabla siguiente.

Tabla 50. Análisis químicos en suelo (todas las muestras)

Análisis	Técnica y Método	Límite de Detección (LD)
Barrido de metales	ICP-OES. I-ENV-LAB-116 basado en EPA 3050B, I-ENV-LAB-501 basado en EPA 6010B, SM 3120B Ed 22,2012	Dependiente del metal
Mercurio	Absorción Atómica. I-ENV-LAB-110 Basado en EPA 7471 AB	0.01 (mg/Kg)
pH 25°C	I-ENV-LAB-271 basado en INIA 9.1 (2006), SM 4500-H B Ed.22, 2012	0,1 unidades de pH
Conductividad Eléctrica, CE, a 25°C	I-ENV-LAB-270 basado INIA 9.1 (2006)	1 [us/cm]

Fuente. Elaboración propia en base a datos provistos por laboratorio SGS.

De las 20 muestras colectadas en áreas de uso agrícola, cuya localización fue definida tomando en consideración las series de suelo existentes en la zona (Series Bellavista, Freirina y Paona), se les analizó el contenido de metales totales, pH y CE en el laboratorio SGS, y en 5 muestras (BVT-2, BVT-3, PNA-5, FRN-5, FRN-6) se analizó, además, parámetros vinculados con su aptitud agrícola (pH, CE, %M.O., clase textural, salinidad y cationes y aniones solubles) en el laboratorio AGROLAB. De estas muestras, 2 se localizan en la serie de suelo Bellavista, 2 en la serie Freirina, y 1 en la serie Paona.

#### 9.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, en las Tablas 51, 52, 53 y 54, se presentan todos los resultados analíticos de metales obtenidos para todas las muestras de suelo tomadas en el marco de este estudio, que corresponden a 73 muestras.

La Tabla 51 presenta los resultados del análisis de las muestras urbanas/residenciales, la Tabla 52 los resultados de las muestras industriales, la Tabla 53 los resultados de las muestras agrícolas y la Tabla 54 de las muestras background.

Adicionalmente, se realizó un registro de las concentraciones de cada analito/parámetro, para cada punto de muestreo, y se realizó un análisis estadístico de los resultados.

#### **9.3.4.1 Estadística de concentraciones medidas.**

En este apartado, se presenta la estadística descriptiva clásica de las concentraciones medidas en los suelos de Huasco, lo que incluye estadígrafos como el número de muestras, valor promedio, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo y mediana. Cabe indicar, que para el cálculo de los estadígrafos, en aquellos casos en que se reportó un valor inferior al límite de cuantificación (LC), el valor se asumió como igual a dicho límite (medida conservadora).

Además se incluyó el cálculo del 95% del nivel superior de confianza con respecto al promedio (95% UCL, por su sigla en inglés). Debido a la incertidumbre asociada con la estimación del verdadero promedio para un sitio, territorio o fuente de contaminantes, se recomienda el uso del 95% UCL, que corresponde a un promedio ajustado o corregido. En términos prácticos, el estadígrafo indica que el valor verdadero del promedio está con una certeza del 95%, por debajo del valor del 95% UCL. De esta forma, es posible indicar, con un alto nivel de confianza, que el “promedio real” es igual o inferior a este valor. En base a lo anterior, se le considera un estadígrafo confiable, conservador, y estable.

Para la estimación de este valor, se utilizó el ProUCL de uso gratuito en el sitio web de EPA. Este programa realiza una serie de cálculos e iteraciones que determinan la distribución estadística a la que mejor se ajusta el conjunto de datos que se computan para la evaluación. Además entrega datos como máximo y mínimo, promedio, desviación estándar, coeficientes de variación, entre otros.

A continuación, en las Tablas 62, 64, 66 y 68 se presentan tablas con estadística descriptivas para muestras de suelo urbanas, industriales, agrícolas y background, y en las Tablas 63, 65, 67 y 69 se presenta además el valor 95% UCL (UCL 95) respectivamente.

En ANEXO 11, se encuentran los análisis originales de laboratorio SGS, y los análisis realizados por IDEAMBIENTE.

Tabla 51. Resultados analíticos muestras urbanas/residenciales

Parámetro	Resultados																								
	LD	Unidad	SU 1	SU 2	SU 3	SU 4	SU 5	SU 6	SU 7	SU 8	SU 9	SU 10	SU 11	SU 12	SU 13	SU 14	SU 15	SU 16	SU 17	SU 18	SU 19	SU 20	SU 21	SU 22	
Aluminio	5,5	mg/kg	3116	7090	4906	7963	7163	4666	19945	5554	3212	3719	5686	10070	5868	3521	4374	5944	4704	2547	7027	7436	6791	2935	
Antimonio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Arsénico	3,5	mg/kg	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,9	
Bario	3	mg/kg	15	21	60	23	27	35	37	32	10	9	31	30	26	130	14	25	26	9	27	15	25	20	
Berilio	3	mg/kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Bismuto	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Boro	2	mg/kg	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Cadmio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Calcio	7	mg/kg	4565	1012	4322	4032	5271	4619	3133	2274	130373	3937	3779	3191	96028	74326	15492	175789	379	3745	4547	4375	1018	4330	
Cinc	5	mg/kg	75	46	79	39	38	69	265	58	12	53	239	47	117	187	54	42	51	15	159	33	47	18	
Cobalto	3	mg/kg	5	3	5	3	3	3	19	9	3	14	3	9	3	3	15	3	3	3	3	3	3	3	
Cobre	3,5	mg/kg	35,7	26,4	544,4	25,5	25,7	29,3	83,2	48,8	3,5	3,5	30,3	30,6	19,8	154,2	80,3	15,2	58,4	3,5	19,7	9,8	16,8	3,5	
Cromo	2,5	mg/kg	5,3	13,6	10,1	13,0	12,1	6,8	105,8	13,7	8,8	9,2	5,9	23,1	13	19,1	11,3	8,1	6,8	9,3	14,2	14,7	13,3	10	
Escandio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Estaño	24	mg/kg	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Estroncio	22	mg/kg	579	48	278	243	220	129	47	92	660	198	78	22	81	183	62	197	223	689	56	43	165	750	
Fósforo	4	mg/kg	1205	1503	1625	746	<4	956	1857	503	<4	<4	<4	2312	4	4	10181	1663	3796	402	5818	4	5	6	
Galio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Germanio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Hierro	5	mg/kg	73056	27818	31971	21702	17691	27410	48190	77655	8856	11674	35624	30858	19037	32290	15793	16555	29028	16306	26658	20472	19550	22541	
Lantano	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Litio	2,5	mg/kg	2,5	9,5	4,9	6,1	8,1	4,9	16,5	2,5	2,5	2,5	8,0	8,2	5,6	2,5	3,2	5,1	4,2	2,5	8	5,1	6,9	2,5	
Magnesio	9,5	mg/kg	4073	10300	4743	3242	4589	5773	5767	5869	3308	6427	5666	5377	6829	7164	3143	3404	70,8	5918	149,6	144,4	447,8	189,1	
Manganeso	2	mg/kg	377	356	251	457	542	375	1335	546	93	453	684	731	363	390	593	242	386	123	420	284	253	175	
Mercurio	0,01	mg/kg	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Molibdeno	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	
Niquel	1,5	mg/kg	8,8	4,3	4,9	4,9	2,8	4,4	56,7	12,7	1,5	1,5	6,4	9,4	5,9	7,3	26,7	3	3,6	1,5	7,5	3,4	3,9	1,5	
Plata	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Plomo	2	mg/kg	2	2	2	2	2	5	59	2	2	379	7	5	2	58	13	2	3	2	13	2	4	2	
Potasio	20	mg/kg	823	2580	709	790	882	1865	2976	2664	592	2422	3162	3742	3647	4017	683	668	276	1259	63	60	137	60	
Selenio	4,5	mg/kg	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
Sodio	14	mg/kg	1042	349	1117	906	1207	995	150	298	1359	244	484	483	198	371	1203	1262	117	182	100	103	132	104	
Talio	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Teluro	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Thorio	5	mg/kg	68	47	50	38	31	45	78	118	<5	21	54	53	32	47	253	29	44	27	45	37	33	34	
Uranio	10	mg/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Vanadio	2,5	mg/kg	108,7	60,6	57,6	43,1	30,5	68,3	119,6	221,1	16,3	20,7	83,3	52,6	35,3	50,5	432,5	20,5	28,9	39,8	54,4	43,8	33,9	48,2	
pH 25°C Laboratorio	0,1	UpH	7,9	8	7,6	9,6	8,3	7,7	8	8,3	8,3	7,9	8,1	7,6	7,2	7,8	7,3	7,7	7,9	8,1	7,6	8,2	7,5	8	
T° de medición PH	0	°C	21,6	22,3	20,4	20,7	21,6	21,3	21,8	20,1	22,6	21,2	21,6	21,3	20,6	21,9	20,4	20,7	20,4	20,5	20,9	20,4	21,4	20,8	
Conductividad a 25 °C	1	uS/cm	2520	10273	4743	3600	1260	4808	3895	3365	1502	6350	1552	964	8500	2492	19478	4220	11448	4958	4728	681	4833	4835	
Humedad	0,1	%	0,5	1,4	1	0,9	5	10,2	1,2	1,1	0,5	0,6	2,2	0,6	1,3	0,6	1,3	4,8	1,9	2	3,7	0,6	6,2	1,9	

**Nota:**

1) Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos. 2) Las muestras en azul corresponden a muestras duplicadas.

Tabla 52. Resultados analíticos muestras industriales

Parámetro	Resultados																	
	LD	Unidad	SI1	SI2	SI3	SI4	SI5	SI6	SI7	SI8	SI9	SI10	SI11	SI12	SI13	SI14	SI15	SI16
Aluminio	5,5	mg/kg	4433	13686	4312	3891	4211	5539	9638	10445	2886	9555	12060	9534	5326	11748	13181	2812
Antimonio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Arsénico	3,5	mg/kg	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Bario	3	mg/kg	10	21	11	12	12	20	30	26	20	12	40	38	440	30	18	21
Berilio	3	mg/kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Bismuto	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Boro	2	mg/kg	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cadmio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Calcio	7	mg/kg	227562	50939	217129	202427	262847	230524	10043	22831	300299	6400	6158	4389	71691	5531	31892	268263
Cinc	5	mg/kg	6	40	20	6	10	19	43	46	506	21	140	37	42	36	33	377
Cobalto	3	mg/kg	3	12	3	3	3	3	7	6	3	5	16	4	5	6	7	3
Cobre	3,5	mg/kg	3,5	53,4	4,1	3,5	3,5	12,2	10,1	19,6	3,5	5,8	23,1	9,4	19,4	19,9	17,5	3,5
Cromo	2,5	mg/kg	7,3	13,0	4,8	5,6	6,4	7,0	23,0	12,5	4,1	28,5	18,8	12,8	13,1	19,6	16,4	4,4
Escandio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Estaño	24	mg/kg	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Estroncio	22	mg/kg	558	57	572	470	585	112	22	22	812	22	25	22	183	22	22	707
Fósforo	4	mg/kg	1554	1731	1698	1498	1376	1555	1750	2314	2024	2414	2671	1771	1772	4008	2528	2826
Galio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Germanio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Hierro	5	mg/kg	19488	44572	75644	21878	32589	34643	30488	40261	19741	27803	43216	32644	118889	29227	36866	23174
Lantano	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Litio	2,5	mg/kg	2,5	7,0	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0	7,0	2,5	3,7	12,6	6,0	5,4	7,3	2,5	2,5
Magnesio	9,5	mg/kg	4430	6223	5137	7593	5637	4574	5142	4920	4044	3730	5099	7240	7417	5515	3443	7577
Manganeso	2	mg/kg	97	283	212	87	110	712	446	444	105	297	669	573	302	385	325	98
Mercurio	0,01	mg/kg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Molibdeno	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Níquel	1,5	mg/kg	1,5	12,1	5,0	1,5	1,8	2,6	5,0	8,9	1,5	9,0	8,9	4,4	15,9	7,8	7,8	1,5
Plata	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Plomo	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	6	2	2	2	2	62	2	2	10
Potasio	20	mg/kg	1182	2210	1753	3147	2115	1481	3667	2186	984	1881	2161	3072	3387	3140	1249	1047
Selenio	4,5	mg/kg	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Sodio	14	mg/kg	2212	1766	1338	2583	1366	1509	1197	1613	1275	1121	1681	613	811	1352	1184	4236
Talio	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Teluro	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Thorio	5	mg/kg	27	65	86	28	42	42	46	61	27	39	63	48	139	46	53	29
Uranio	10	mg/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Vanadio	2,5	mg/kg	41,7	67,4	178,3	50,6	78,2	60,2	50,4	54,7	47,7	55,8	80,1	50,7	317,8	39,5	54,6	51,0
pH 25°C Laboratorio	0,1	UpH	8,8	8,6	7,0	8,3	7,8	8,7	7,0	7,0	8,3	7,3	8,1	7,9	8,5	7,7	8,1	8,4
T° de medición PH	0	°C	23,5	21,6	24,6	20,5	24,7	21,1	20,3	21,8	20,3	21,2	22,5	21,8	23,8	20,8	21,3	20,4
Conductividad a 25 °C	1	uS/cm	807	586	375	1118	2486	3680	389	375	985	510	1113	382	650	837	729	931
Humedad	0,1	%	0,3	1,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,7	0,8	0,2	0,7	0,8	0,8	0,4	1,0	1,1	0,2

**Nota:**

1) Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos. 2) Las muestras en azul corresponden a muestras duplicados

Tabla 53. Resultados analíticos muestras agrícolas

Parámetro	Resultados																							
	LD	Unidad	BVT1	BVT2	BVT3	BVT4	BVT5	FRN1	FRN2	FRN3	FRN4	FRN5	FRN6	FRN7	FRN8	FRN9	PNA1	PNA2	PNA3	PNA4	PNA5	PNA6	PNA7	PNA8
Aluminio	5,5	mg/kg	7461	9942	11735	1132	7696	4735	5556	7165	6078	5333	7391	6996	5512	8424	8993	6676	8773	8840	8814	7282	7919	6864
Antimonio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Arsénico	3,5	mg/kg	12,7	7,6	22,2	7,6	11,5	5,3	7,5	6,5	6,6	3,5	3,5	5,1	3,5	3,5	12,1	12,1	17,4	10,7	4,4	9,4	15,5	12,3
Bario	3	mg/kg	50	68	97	41	69	11	29	31	20	18	31	17	20	30	60	38	64	51	56	45	63	53
Berilio	3	mg/kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Bismuto	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Boro	2	mg/kg	54	2	2	6	36	16	17	14	20	2	2	6	2	2	43	40	69	111	2	48	59	51
Cadmio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Calcio	7	mg/kg	41966	5301	4620	22369	43707	44980	33363	17683	35412	67	128	56984	6031	16575	45890	13625	53609	48297	73	77180	13440	39405
Cinc	5	mg/kg	68	89	96	111	251	20	41	66	30	33	42	28	39	67	63	60	83	76	108	67	72	63
Cobalto	3	mg/kg	5	4	6	3	6	3	4	6	3	3	3	5	3	8	6	5	6	5	3	4	6	5
Cobre	3,5	mg/kg	42,6	47,4	121,3	4,5	47,2	9,4	25,6	30,4	15,4	7,8	12,5	14,2	10,9	15,9	43,1	46,8	39,1	35,9	53,7	27,3	43,8	28,9
Cromo	2,5	mg/kg	13,2	14	15,9	2,5	16,2	15,8	11	18,1	13,6	8,9	8,1	26,2	8,8	12,3	16,1	13,1	14,9	15,1	13	12,5	18,1	13,5
Escandio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Estaño	24	mg/kg	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Estroncio	22	mg/kg	137	83	108	946	130	153	67	57	154	139	45	228	153	48	153	51	216	217	83	248	67	164
Fósforo	4	mg/kg	9881	1174	1712	1320	12404	4273	4920	9394	5289	1432	2611	4700	1636	4476	6893	4875	7456	13805	429	7190	4542	6806
Galio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Germanio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Hierro	5	mg/kg	19532	22372	23465	4017	24707	13247	17295	23552	14941	13370	16549	22027	14393	24339	25414	16166	23039	21014	22887	17010	18628	19304
Lantano	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Litio	2,5	mg/kg	21,6	20,8	28,4	34,8	19	4,3	10,7	10,5	8,7	5,4	15,4	7,5	5,7	17,1	24,8	18,3	25,8	26,5	16,1	20,5	24,8	19,6
Magnesio	9,5	mg/kg	8376	126,6	214	2592	8342	4228	4608	5647	4976	236	259,1	6599	117,8	6724	14271	6942	10801	12077	221,8	10713	11468	9360
Manganeso	2	mg/kg	601	561	869	426	803	149	306	364	246	258	369	218	281	391	656	359	759	447	539	478	424	1427
Mercurio	0,01	mg/kg	0,01	0,15	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Molibdeno	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	5	2	6	6	7
Niquel	1,5	mg/kg	10,7	10,1	13,9	1,5	12,3	5,6	9,3	10,5	6,6	1,6	5,1	10,2	1,7	13,7	11,4	9,8	11,6	11	8,8	8,7	11,9	10,3
Plata	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Plomo	2	mg/kg	16	9	26	2	30	2	5	13	3	2	2	2	2	10	7	12	11	8	10	6	20	7
Potasio	20	mg/kg	1567	63	104	883	2031	829	1673	1216	823	160	143	1300	53	1346	1828	1228	1553	10073	171	820	801	2053
Selenio	4,5	mg/kg	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Sodio	14	mg/kg	4832	112	108	7232	3263	237	2449	127	57	130	133	337	92	2780	33869	4423	8036	19600	148	5790	33343	5255
Talio	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Teluro	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Thorio	5	mg/kg	39	43	43	13	45	29	35	45	31	25	33	42	28	41	45	36	46	42	40	36	41	41
Uranio	10	mg/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Vanadio	2,5	mg/kg	30,6	40,7	36,5	32,7	32,4	30,6	31,7	42,7	26	26,1	31,6	53,9	27,1	34,3	45,5	28,1	38,2	38,2	39,1	33,2	28,4	35,3
pH 25°C Laboratorio	0,1	UpH	8,0	7,8	7,5	8,3	7,8	7,2	7	7,4	8,3	7,7	8,1	8,0	7,6	8,6	7,5	6,8	8,3	8,1	8,2	8,2	8,1	8,3
T° de medición PH	0	°C	21,5	21,1	22,8	21,5	20,4	21,4	21,9	21,1	20,8	21,6	20,8	20,6	21,5	20,4	21,4	21,2	22,7	21,3	21,1	22,9	21,2	20,4
Conductividad a 25 °C	1	uS/cm	20813	8435	5648	23360	17658	6165	12918	2740	1192	1519	14718	5080	1683	17040	12692	31525	21815	70000	1142	18283	11502	24245
Humedad	0,1	%	21,8	12	23,9	17,2	17,8	1,2	1,5	4,1	7,5	3,5	5,2	1,0	3,6	1,3	16,3	3,1	22,5	22,5	14,6	19,5	6,9	19,7

**Nota:**

1) Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos. 2) Las muestras en azul corresponden a muestras duplicados

Tabla 54. Resultados analíticos muestras background

Parámetro	Resultados																					
	LD	Unidad	BKG TTR1	BKG TTR2	BKG CHA3	BKG CQN4	BKG CHA5	BKG FRN 6	BKG HSC7	BKG HSC8	BKG FRN9	BKG PNA10	BKG LCM11	BKG BEZ12	BKG VTN13	BKG LCM14	BKG PNA15	BKG HSC16	BKG CHA17	BKG CQN18	BKG CHA20	BKG HSC19
Aluminio	5,5	mg/kg	5017	17401	12994	9086	8831	7684	10209	12985	6871	10782	9657	6665	8453	5937	5947	14773	5695	10196	8626	13656
Antimonio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Arsénico	3,5	mg/kg	9,7	10,1	17,9	3,6	6,7	3,5	6,7	22	3,5	29,2	8,9	6,9	40,6	<3,5	10,7	18,4	7	5,4	7,5	18,1
Bario	3	mg/kg	23	57	78	61	49	21	43	103	29	45	33	32	54	45	35	98	26	57	41	91
Berilio	3	mg/kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Bismuto	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Boro	2	mg/kg	59	20	29	29	18	2	22	30	2	40	23	50	11	8	68	19	24	17	2	15
Cadmio	2,5	mg/kg	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Calcio	7	mg/kg	14971	10069	18810	11254	30626	124	5497	22651	7731	7430	8682	40202	11713	29485	29150	20443	11989	10946	28852	18106
Cinc	5	mg/kg	29	70	98	52	60	43	48	186	34	34	52	49	63	42	87	303	44	70	58	310
Cobalto	3	mg/kg	3	12	10	7	9	10,9	6	11	8	7	6	3	12	8	3	12	3	6	8	12
Cobre	3,5	mg/kg	15,6	98,3	48,6	24,4	46,8	11,9	26,5	149,9	27,6	23,4	26,1	24	36,3	47,1	44	89,1	13,9	30,7	44,4	91,8
Cromo	2,5	mg/kg	9,4	16,3	23,8	28,5	14,8	8,7	14,5	17,2	4,4	25,7	16,8	11,1	18,9	15,3	10	14,2	12,3	14,7	15,3	13,3
Escandio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Estaño	24	mg/kg	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Estroncio	22	mg/kg	35	29	66	38	36	26	24	79	22	22	31	96	35	33	76	79	30	48	32	68
Fósforo	4	mg/kg	403	149	933	817	404	2998	87	2474	25651	6816	6908	7136	6841	10007	10270	7358	6611	7525	6857	7854
Galio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Germanio	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Hierro	5	mg/kg	12852	45099	25913	20001	26711	14735	19646	25532	88107	28352	21485	16510	31798	14933	15753	23820	14285	19666	29701	24033
Lantano	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	8	6	5	11	6	5	7	5	13	5	5	5	5	12
Litio	2,5	mg/kg	9,7	19,5	22,4	11,6	9,7	13,1	16,7	21,8	20,4	47,7	18,5	14,2	17,7	13,7	21,7	34,5	16,1	18	9	28,3
Magnesio	9,5	mg/kg	4266	16820	9895	7730	7926	227,8	6591	8893	3644	9294	8846	7082	7342	9063	9082	7420	4973	7436	8146	6775
Manganeso	2	mg/kg	298	641	614	285	519	374	509	835	398	441	475	229	490	437	384	1237	311	501	476	1266
Mercurio	0,01	mg/kg	0,01	0,15	0,11	0,01	0,01	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Molibdeno	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3
Niquel	1,5	mg/kg	5,4	12,3	17	22,9	9	1,5	10	16,5	12	17,2	11,2	6,5	12,5	9,5	6,9	19,2	10,3	10,6	8,2	17,7
Plata	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Plomo	2	mg/kg	2	10	18	6	11	2	10	38	7	2	9	5	7	8	11	38	4	13	12	34
Potasio	20	mg/kg	625	615	2559	1722	531	170	887	810	646	2426	3540	2557	2390	9423	9521	1568	936	4362	1441	868
Selenio	4,5	mg/kg	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Sodio	14	mg/kg	57	1577	661	558	1100	126	962	788	6260	1290	781	5551	247	7136	7073	194	405	20	92	109
Talio	2	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Teluro	5	mg/kg	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Thorio	5	mg/kg	31	61	48	39	48	29	43	45	212	55	44	33	54	43	29	46	32	41	51	46
Uranio	10	mg/kg	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Vanadio	2,5	mg/kg	25,1	54,6	42,3	36	69	10,9	29,7	32,6	429,2	43,2	36,8	27,5	62,4	10,2	25,4	27	18,5	28,1	76,6	25,3
pH 25°C Laboratorio	0,1	UpH	6,8	7,3	7,1	6,3	7	8,0	7,6	7,9	7,4	7,7	7,7	7,7	7,8	7,4	7,2	7,6	6,8	7,2	6,8	7,4
T° de medición PH	0	°C	20,1	22,8	21,2	22	20,1	21,7	20,5	20,9	22,9	20,2	21,3	21,4	21,4	21,2	22,5	20,3	20,4	22,2	20,2	22
Conductividad a 25 °C	1	uS/cm	5225	8120	4533	3525	1789	16368	932	1067	3388	13750	3735	27050	2498	2058	29675	584	9375	7475	1900	561
Humedad	0,1	%	3,6	1,4	2,3	0,7	2,1	8,9	1,8	15,7	0,8	2	1,4	6,5	1,6	13,1	16,3	28	1,8	1,5	2,1	27,7

**Nota:**

1) Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos. 2) Las muestras en azul corresponden a muestras duplicados.

### 9.3.4.1.1 Duplicados

En la Tabla 51 que presenta las muestras de suelo urbano, las muestras SU-21 y SU-22 fueron tomadas en duplicado. En la Tabla 52, que corresponden a las muestras de uso industrial, la muestra SI-16 es duplicado. En la Tabla 53, que corresponde a muestras de uso agrícola, las muestras duplicados son FRN-8 y FRN-9. Finalmente, en la Tabla 54 que presenta las muestras background, los duplicados corresponden a las muestras BKG HSC 19 y BKG CHA 20.

Según, US New Jersey Department of Environmental Protection (2014), las muestras duplicado se usan para evaluar la técnica de muestreo y la homogeneidad/heterogeneidad de la matriz evaluada, y permiten medir la precisión analítica y del muestreo. Para evaluar las muestras duplicado se calcula el promedio de diferencias relativas (o error relativo promedio o diferencias relativas absolutas DRA) entre las muestras y sus duplicados. Esta medición compara el valor de la muestra original con su duplicado mediante la siguiente fórmula (Stanley & Lawie, 2007):

$$DRA = 2 \frac{|x_1 - x_2|}{(x_1 + x_2)}$$

Donde  $x_1$  y  $x_2$  corresponden a la muestra original y su duplicado.

En general las matrices sólidas tienen mayor heterogeneidad que las líquidas. Para matrices sólidas, si la diferencia relativa entre las muestras originales y sus duplicados es igual o menor a 50%, se considera que el análisis tiene una buena precisión analítica y de muestreo (en el caso de muestras líquidas se considera un 30%). Si las diferencias son mayores, esto puede tener relación con la matriz analizada (en este caso suelo), la técnica de muestreo y/o con el análisis de laboratorio (US New Jersey Department of Environmental Protection, 2014).

En la tabla siguiente se presentan los resultados del análisis de la muestra tomadas en duplicado, en la que se han destacado en color naranja las celdas para aquellos duplicados que superan el 50% de diferencia relativa. Cabe indicar que en el caso que uno o los dos resultados reportados para un parámetro fueran inferiores al límite de detección, no fue posible calcular el error relativo promedio.

## 9.3.4.1.2 Duplicados muestras de suelo uso urbano

Tabla 55. Resultados análisis muestra duplicado (SU-16 y 21)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio
	SU-16	SU-21			SU-16	SU-21	
Aluminio	5944	6791	13,30	Hierro	16555	19550	16,59
Antimonio	2,50	2,50	0,00	Lantano	5,00	5,00	0,00
Arsénico	3,50	3,50	0,00	Litio	5,10	6,90	30,00
Bario	25	25	0,00	Manganeso	242	253	4,44
Berilio	3,00	3,00	0,00	Mercurio	0,01	0,01	0,00
Bismuto	5,00	5,00	0,00	Molibdeno	5	7,00	33,33
Cadmio	2,50	2,50	0,00	Niquel	3,00	3,90	26,09
Cinc	42	47	11,24	Plata	5	5	0,00
Cobalto	3	3	0,00	Plomo	2,5	4	46,15
Cobre	15,20	16,80	10,00	Uranio	10,00	10,00	0,00
Cromo	8,10	13,30	48,60	Vanadio	20,5	33,9	49,26
Escandio	5,00	5,00	0,00				
Estaño	24	24	0,00	CE a 25 °C	4220	4833	13,54
Estroncio	197	165	17,68	pH 25°C Lab.	7,7	7,5	2,63

Tabla 56. Resultados análisis muestra duplicado (SU-18 y 22)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio
	SU-18	SU-22			SU-18	SU-22	
Aluminio	2547	2935	14,16	Hierro	16306	22541	32,10
Antimonio	2,50	2,50	0,00	Lantano	5,00	5,00	0,00
Arsénico	3,50	3,9	10,81	Litio	2,5	2,5	0,00
Bario	9	20	75,86	Manganeso	123	175	34,90
Berilio	3,00	3,00	0,00	Mercurio	0,01	0,01	0,00
Bismuto	5,00	5,00	0,00	Molibdeno	6	8	28,57
Cadmio	2,50	2,50	0,00	Niquel	1,5	1,5	0,00
Cinc	15	18	18,18	Plata	5	5	0,00
Cobalto	3	3	0,00	Plomo	2	2	0,00
Cobre	3,5	3,50	0,00	Uranio	10,00	10,00	0,00
Cromo	9,30	10,00	7,25	Vanadio	39,80	48,20	19,09
Escandio	5,00	5,00	0,00				
Estaño	24,00	24,00	0,00	CE a 25 °C	4958	4835	2,51
Estroncio	689	750	8,48	pH 25°C Lab.	8,1	8,0	2,51

En la tabla anterior, es posible notar que la mayor parte de los duplicados presentan una diferencia relativa inferior al 50%, lo que daría cuenta de una precisión analítica y de muestreo adecuada. Hubo un solo parámetro, el bario que tuvo un diferencia superior al 50%. Esta situación se considera un resultado aislado, pues se trata solo de un parámetro entre 39, además, tal como se ha comentado previamente, la matriz suelo comúnmente es heterogénea y diferencias de este tipo son esperables. En el caso que en las

evaluaciones posteriores se definiera al bario como un parámetro de relevancia, podría requerirse un reanálisis de este elemento.

### 9.3.4.1.3 Duplicados muestras de suelo uso industrial

Tabla 57. Resultado de análisis de muestras duplicado (SI-9 y SI-16)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio
	SI-9	SI-16			SI-9	SI-16	
Aluminio	2886	2812	2,60	Hierro	19741	23174	16,00
Antimonio	2,50	2,50	0,00	Lantano	5,00	5,00	0,00
Arsénico	3,50	3,50	0,00	Litio	2,5	2,5	0,00
Bario	20	21	4,88	Manganeso	105	98	6,90
Berilio	3,00	3,00	0,00	Mercurio	0,01	0,01	0,00
Bismuto	5,00	5,00	0,00	Molibdeno	2,00	2,00	0,00
Cadmio	2,50	2,50	0,00	Niquel	1,50	1,50	0,00
Cinc	506	377	29,22	Plata	5	5	0,00
Cobalto	3	3	0,00	Plomo	2,00	4,00	66,67
Cobre	3,5	3,5	0,00	Uranio	10,00	10,00	0,00
Cromo	4,1	4,4	7,06	Vanadio	47,7	51,0	6,69
Escandio	5,00	5,00	0,00				
Estaño	24,00	24,00	0,00	CE a 25 °C	985	931	5,64
Estroncio	812	707	13,82	pH 25°C Lab.	8,3	8,4	1,20

En la tabla anterior, es posible notar que la mayor parte de los duplicados presentan una diferencia relativa inferior al 50%, lo que daría cuenta de una precisión analítica y de muestreo adecuada. Hubo un solo parámetro, el plomo que tuvo una diferencia levemente superior al 50%. Esta situación se considera un resultado aislado, pues se trata solo de un parámetro entre 39. En el caso que en las evaluaciones posteriores se definiera al plomo como un parámetro de relevancia, podría requerirse un reanálisis de este elemento.

### 9.3.4.1.4 Duplicados muestras de suelo uso agrícola

Tabla 58. Resultado de análisis de muestras duplicado (FRN-5 y FRN-8)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio
	FRN-5	FRN-8			FRN-5	FRN-8	
Aluminio	5333	5512	3,30	Hierro	13370	14393	7,37
Antimonio	2,500	2,500	0,00	Lantano	5,00	5,00	0,00
Arsénico	3,500	3,500	0,00	Litio	5,40	5,7	5,41
Bario	18	20	10,53	Manganeso	258,0	281	8,53
Berilio	3	3	0,00	Mercurio	0	0,01	0,00
Bismuto	5	5	0,00	Molibdeno	2,000	2	0,00
Cadmio	2,5	3	0,00	Niquel	1,6	1,7	6,06
Cinc	33	39	16,67	Plata	5	5	0,00
Cobalto	3	3	0,00	Plomo	2,00	2	0,00
Cobre	7,80	10,9	33,16	Uranio	10	10	0,00
Cromo	8,90	8,8	1,13	Vanadio	26,10	27,1	3,76
Escandio	5,00	5,00	0,00				
Estaño	24	24	0,00	CE a 25 °C	1.519	1900	22,29
Estroncio	139	153	9,59	pH 25°C Lab.	8,1	7,6	22,29

Tabla 59. Resultado de análisis de muestras duplicado (FRN-6 y FRN-9)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo
	FRN-6	FRN-9			FRN-6	FRN-9	
Aluminio	7391	8424	13,06	Hierro	16549	24339	38,10
Antimonio	2,5	2,5	0,00	Lantano	5	5	0,00
Arsénico	3,5	3,5	0,00	Litio	15,4	17,1	10,46
Bario	31	30	3,28	Manganeso	369	391	5,79
Berilio	3	3	0,00	Mercurio	0,01	0,015	40,00
Bismuto	5	5	0,00	Molibdeno	2	2	0,00
Cadmio	2,5	2,5	0,00	Níquel	5,1	9	55,32
Cinc	42	67	45,87	Plata	5	5	0,00
Cobalto	3	5	50,00	Plomo	2	4	66,67
Cobre	12,5	15,9	23,94	Uranio	10	10	0,00
Cromo	8,1	12,3	41,18	Vanadio	31,6	34,3	8,19
Escandio	5,00	5,00	0,00				
Estaño	24,00	24,00	0,00	CE a 25 °C	14.718	17.040	14,62
Estroncio	45	48	6,45	pH 25°C Lab.	8,1	7,5	7,69

De acuerdo a la Tabla 58, ningún duplicado presenta una diferencia relativa levemente superior al 50%, lo que daría cuenta de una precisión analítica y de muestreo adecuada.

En la Tabla 59, es posible notar que la mayor parte de los duplicados presentan una diferencia relativa inferior al 50%, Hubo dos parámetros, níquel y plomo, con diferencias superiores al 50%. Estas situaciones se consideran resultados aislados, pues se trata solo de dos parámetros de entre 39. En el caso que en las evaluaciones posteriores se definiera a los elementos plomo y níquel como un parámetro de relevancia, podría requerirse un reanálisis de este elemento.

#### 9.3.4.1.5 Duplicados muestras de suelo background

Tabla 60. Resultados análisis muestra duplicado (BKG CHA 5 y BKG CHA-20)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio
	BKG CHA 5	BKG CHA-20			BKG CHA 5	BKG CHA-20	
Aluminio	8831	8626	2,35	Hierro	26711	29701	10,60
Antimonio	2,5	2,5	0,00	Lantano	5	5	0,00
Arsénico	6,7	7,5	11,27	Litio	9,7	9	7,49
Bario	49	41	17,78	Manganeso	519	476	8,64
Berilio	3	3	0,00	Mercurio	0,01	0,01	0,00
Bismuto	5	5	0,00	Molibdeno	2	2	0,00
Cadmio	2,5	2,5	0,00	Níquel	9	8,2	9,30
Cinc	60	58	3,39	Plata	5	5	0,00
Cobalto	9	8	11,76	Plomo	11	12	8,70
Cobre	46,8	44,4	5,26	Uranio	10	10	0,00
Cromo	14,8	15,3	3,32	Vanadio	69	76,6	10,44
Escandio	5	5	0,00				
Estaño	24	24	0,00	CE a 25 °C	1789	1900	6,02
Estroncio	36	32	11,76	pH 25°C Lab.	7,0	7,2	2,82

Tabla 61. Resultados análisis muestra duplicado (BKG HSC 16 y BKG HSC 19)

Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio	Parámetro	Muestras duplicado		Error relativo promedio
	BKG HSC 16	BKG HSC 19			BKG HSC 16	BKG HSC 19	
Aluminio	14773	13656	7,86	Hierro	23820	24033	0,89
Antimonio	2,5	2,5	0,00	Lantano	13	12	8,00
Arsénico	18,4	18,1	1,64	Litio	34,5	28,3	19,75
Bario	98	91	7,41	Manganeso	1237	1266	2,32
Berilio	3	3	0,00	Mercurio	0,01	0,01	0,00
Bismuto	5	5	0,00	Molibdeno	3	3	0,00
Cadmio	2,5	2,5	0,00	Niquel	19,2	17,7	8,13
Cinc	303	310	2,28	Plata	5	5	0,00
Cobalto	12	12	0,00	Plomo	38	34	11,11
Cobre	89,1	91,8	2,99	Uranio	10	10	0,00
Cromo	14,2	13,3	6,55	Vanadio	27	25,3	6,50
Escandio	5	5	0,00				
Estaño	24	24	0,00	CE a 25 °C	584	561	4,02
Estroncio	79	68	14,97	pH 25°C Lab.	7,6	7,4	2,67

Para el caso de la Tabla 60 y 61, se puede observar que ningún duplicado presenta una diferencia relativa superior al 50%, lo que indicaría de una precisión analítica y de muestreo adecuada.

Tabla 62. Análisis estadístico muestras urbanas/residenciales

Muestras	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
SU 1	3.116	3,5	15	2	4.565	75	5	35,7	5,3	579	1.205	73.056	2,5	4.073	377	0,01	8,8	2	823	1.042	68	108,7
SU 2	7.090	3,5	21	3	1.012	46	3	26,4	13,6	48	1.503	27.818	9,5	10.300	356	0,02	4,3	2	2.580	349	47	60,6
SU 3	4.906	3,5	60	4	4.322	79	5	544,4	10,1	278	1.625	31.971	4,9	4.743	251	0,01	4,9	2	709	1.117	50	57,6
SU 4	7.963	3,5	23	5	4.032	39	3	25,5	13,0	243	746	21.702	6,1	3.242	457	0,01	4,9	2	790	906	38	43,1
SU 5	7.163	3,5	27	6	5.271	38	3	25,7	12,1	220	4	17.691	8,1	4.589	542	0,01	2,8	2	882	1.207	31	30,5
SU 6	4.666	3,5	35	7	4.619	69	3	29,3	6,8	129	956	27.410	4,9	5.773	375	0,01	4,4	5	1.865	995	45	68,3
SU 7	19.945	7,5	37	8	3.133	265	19	83,2	105,8	47	1.857	48.190	16,5	5.767	1.335	0,01	56,7	59	2.976	150	78	119,6
SU 8	5.554	3,5	32	9	2.274	58	9	48,8	13,7	92	503	77.655	2,5	5.869	546	0,01	12,7	2	2.664	298	118	221,1
SU 9	3.212	3,5	10	10	130.373	12	3	3,5	8,8	660	4	8.856	2,5	3.308	93	0,01	1,5	2	592	1.359	5	16,3
SU 10	3.719	3,5	9	11	3.937	53	14	3,5	9,2	198	4	11.674	2,5	6.427	453	0,01	1,5	379	2.422	244	21	20,7
SU 11	5.686	3,5	31	12	3.779	239	3	30,3	5,9	78	4	35.624	8,0	5.666	684	0,01	6,4	7	3.162	484	54	83,3
SU 12	10.070	3,5	30	2	3.191	47	9	30,6	23,1	22	2.312	30.858	8,2	5.377	731	0,01	9,4	5	3.742	483	53	52,6
SU 13	5.868	3,5	26	2	96.028	117	3	19,8	13,0	81	4	19.037	5,6	6.829	363	0,01	5,9	2	3.647	198	32	35,3
SU 14	3.521	4,7	130	2	74.326	187	3	154,2	19,1	183	4	32.290	2,5	7.164	390	0,01	7,3	58	4.017	371	47	50,5
SU 15	4.374	3,5	14	2	154.928	54	15	80,3	11,3	62	10.181	157.935	3,2	3.143	593	0,01	26,7	13	683	1.203	253	432,5
SU 16	5.944	3,5	25	2	175.789	42	3	15,2	8,1	197	1.663	16.555	5,1	3.404	242	0,01	3,0	2	668	1.262	29	20,5
SU 17	4.704	3,5	26	2	379	51	3	58,4	6,8	223	3.796	29.028	4,2	71	386	0,01	3,6	3	276	117	44	28,9
SU 18	2.547	3,5	9	2	3.745	15	3	3,5	9,3	689	402	16.306	2,5	5.918	123	0,01	1,5	2	1.259	182	27	39,8
SU 19	7.027	3,5	27	2	4.547	159	3	19,7	14,2	56	5.818	26.658	8,0	150	420	0,01	7,5	13	63	100	45	54,4
SU 20	7.436	3,5	15	2	4.375	33	3	9,8	14,7	43	4	20.472	5,1	144	284	0,01	3,4	2	60	103	37	43,8
N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20,00	20	20	20	20	20	20,0
Promedio	6.226	3,8	30	5	34.231	84	6	62,4	16,2	206	1.630	36.539	5,6	4.598	450	0,01	8,9	28,2	1.694	609	56	79,4
Mediana	5.620	3,5	26	3	4.349	54	3	27,9	11,7	156	851	27.614	5,0	5.060	388	0,01	4,9	2,0	1.071	427	45	51,6
Mínimo	2.547	3,5	9	2	379	12	3	3,5	5,3	22	4	8.856	2,5	71	93	0,01	1,5	2,0	60	100	5	16,3
Máximo	19.945	7,5	130	12	175.789	265	19	544,4	105,8	689	10.181	157.935	16,5	10.300	1.335	0,02	56,7	379,0	4.017	1.359	253	432,5
Desv. Estándar	3.745	0,9	26	4	57.778	72	5	118,9	21,5	204	2.498	33.729	3,4	2.542	265	0,00	12,6	84,3	1.328	464	52	95,2

**Nota:**

Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos.

Tabla 63. Cálculo 95 % UCL muestras urbanas/residenciales

MUESTRAS	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
SU 1	3.116	3,5	15	2	4.565	75	5	35,7	5,3	579	1.205	73.056	2,5	4.073	377	0,0	8,8	2	823	1.042	68	109
SU 2	7.090	3,5	21	3	1.012	46	3	26,4	13,6	48	1.503	27.818	9,5	10.300	356	0,0	4,3	2	2.580	349	47	61
SU 3	4.906	3,5	60	4	4.322	79	5	544,4	10,1	278	1.625	31.971	4,9	4.743	251	0,0	4,9	2	709	1.117	50	58
SU 4	7.963	3,5	23	5	4.032	39	3	25,5	13,0	243	746	21.702	6,1	3.242	457	0,0	4,9	2	790	906	38	43
SU 5	7.163	3,5	27	6	5.271	38	3	25,7	12,1	220	4	17.691	8,1	4.589	542	0,0	2,8	2	882	1.207	31	31
SU 6	4.666	3,5	35	7	4.619	69	3	29,3	6,8	129	956	27.410	4,9	5.773	375	0,0	4,4	5	1.865	995	45	68
SU 7	19.945	7,5	37	8	3.133	265	19	83,2	105,8	47	1.857	48.190	16,5	5.767	1.335	0,0	56,7	59	2.976	150	78	120
SU 8	5.554	3,5	32	9	2.274	58	9	48,8	13,7	92	503	77.655	2,5	5.869	546	0,0	12,7	2	2.664	298	118	221
SU 9	3.212	3,5	10	10	130.373	12	3	3,5	8,8	660	4	8.856	2,5	3.308	93	0,0	1,5	2	592	1.359	5	16
SU 10	3.719	3,5	9	11	3.937	53	14	3,5	9,2	198	4	11.674	2,5	6.427	453	0,0	1,5	379	2.422	244	21	21
SU 11	5.686	3,5	31	12	3.779	239	3	30,3	5,9	78	4	35.624	8,0	5.666	684	0,0	6,4	7	3.162	484	54	83
SU 12	10.070	3,5	30	2	3.191	47	9	30,6	23,1	22	2.312	30.858	8,2	5.377	731	0,0	9,4	5	3.742	483	53	53
SU 13	5.868	3,5	26	2	96.028	117	3	19,8	13,0	81	4	19.037	5,6	6.829	363	0,0	5,9	2	3.647	198	32	35
SU 14	3.521	4,7	130	2	74.326	187	3	154,2	19,1	183	4	32.290	2,5	7.164	390	0,0	7,3	58	4.017	371	47	51
SU 15	4.374	3,5	14	2	154.928	54	15	80,3	11,3	62	10.181	157.935	3,2	3.143	593	0,0	26,7	13	683	1.203	253	433
SU 16	5.944	3,5	25	2	175.789	42	3	15,2	8,1	197	1.663	16.555	5,1	3.404	242	0,0	3,0	2	668	1.262	29	21
SU 17	4.704	3,5	26	2	379	51	3	58,4	6,8	223	3.796	29.028	4,2	71	386	0,0	3,6	3	276	117	44	29
SU 18	2.547	3,5	9	2	3.745	15	3	3,5	9,3	689	402	16.306	2,5	5.918	123	0,0	1,5	2	1.259	182	27	40
SU 19	7.027	3,5	27	2	4.547	159	3	19,7	14,2	56	5.818	26.658	8,0	150	420	0,0	7,5	13	63	100	45	54
SU 20	7.436	3,5	15	2	4.375	33	3	9,8	14,7	43	4	20.472	5,1	144	284	0,0	3,4	2	60	103	37	44
Media (promedio)	6.226	3,8	30	4,8	34.231	83,9	6	62,4	16	206,4	1.630	36.539,3	6	4.597,8	450	0,0	9	28,2	1.694	608,5	56	79,4
Desv. Estándar	3.745	0,9	26	3,5	57.778	72,3	5	118,9	22	204,0	2.498	33.729,1	3	2.541,6	265	0,0	13	84,3	1.328	463,8	52	95,2
95 % UCL	7.723,0	4,1	40,5	8,2	90.546,0	119,2	10,5	178,3	37,2	312,3	7.188,0	49.957,0	6,95	5.581,0	552,6	0,0	13,9	110,4	2.625,0	887,5	84,6	115,7

Tabla 64. Análisis estadísticos muestras industriales

Muestras	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
SI1	4.433	3,5	10	2	227.562	6,0	3,0	3,5	7,3	558	1.554	19.488	2,5	4.430	97	0,01	1,50	2,0	1.182	2.212	27	42
SI2	13.686	3,5	21	3	50.939	40,0	12,0	53,4	13,0	57	1.731	44.572	7,0	6.223	283	0,01	12,10	2,0	2.210	1.766	65	67
SI3	4.312	3,5	11	4	217.129	20,0	3,0	4,1	4,8	572	1.698	75.644	2,5	5.137	212	0,01	5,00	2,0	1.753	1.338	86	178
SI4	3.891	3,5	12	5	202.427	6,0	3,0	3,5	5,6	470	1.498	21.878	2,5	7.593	87	0,01	1,50	2,0	3.147	2.583	28	51
SI5	4.211	3,5	12	6	262.847	10,0	3,0	3,5	6,4	585	1.376	32.589	2,5	5.637	110	0,01	1,80	2,0	2.115	1.366	42	78
SI6	5.539	3,5	20	7	230.524	19,0	3,0	12,2	7,0	112	1.555	34.643	2,5	4.574	712	0,01	2,60	2,0	1.481	1.509	42	60
SI7	9.638	3,5	30	8	10.043	43,0	7,0	10,1	23,0	22	1.750	30.488	4,0	5.142	446	0,01	5,00	2,0	3.667	1.197	46	50
SI8	10.445	3,5	26	9	22.831	46,0	6,0	19,6	12,5	22	2.314	40.261	7,0	4.920	444	0,01	8,90	2,0	2.186	1.613	61	55
SI9	2.886	3,5	20	10	300.299	506,0	3,0	3,5	4,1	812	2.024	19.741	2,5	4.044	105	0,01	1,50	2,0	984	1.275	27	48
SI10	9.555	3,5	12	11	6.400	21,0	5,0	5,8	28,5	22	2.414	27.803	3,7	3.730	297	0,01	9,00	2,0	1.881	1.121	39	56
SI11	12.060	3,5	40	12	6.158	140,0	16,0	23,1	18,8	25	2.671	43.216	12,6	5.099	669	0,01	8,90	2,0	2.161	1.681	63	80
SI12	9.534	3,5	38	13	4.389	37,0	4,0	9,4	12,8	22	1.771	32.644	6,0	7.240	573	0,01	4,40	2,0	3.072	613	48	51
SI13	5.326	3,5	440	14	71.691	42,0	5,0	19,4	13,1	183	1.772	118.889	2,6	7.417	302	0,01	15,90	62,0	3.387	811	139	318
SI14	11.748	3,5	30	15	5.531	36,0	6,0	19,9	19,6	22	4.008	29.227	5,4	5.515	385	0,01	7,80	2,0	3.140	1.352	46	40
SI15	13.181	3,5	18	16	31.892	33,0	7,0	17,5	16,4	22	2.528	36.866	7,3	3.443	325	0,01	7,80	2,0	1.249	1.184	53	55
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Promedio	8.030	3,5	49	9	110.044	67,0	5,7	13,9	12,9	234	2.044	40.530	4,7	5.343	336	0,01	6,2	6	2.241	1.441	54	82
Mediana	9.534	3,5	20	9	50.939	36,0	5,0	10,1	12,8	57	1.771	32.644	3,7	5.137	302	0,01	5,0	2	2.161	1.352	46	55
Mínimo	2.886	3,5	10	2	4.389	6,0	3,0	3,5	4,1	22	1.376	19.488	2,5	3.443	87	0,01	1,5	2	984	613	27	40
Máximo	13.686	3,5	440	16	300.299	506,0	16,0	53,4	28,5	812	4.008	118.889	12,6	7.593	712	0,01	15,9	62	3.667	2.583	139	318
Desv. Estándar	3.780	0,0	109	4	113.444	125,6	3,8	13,1	7,3	280	675	25.612	2,9	1.296	203	0,00	4,3	15	859	497	28	73

Tabla 65. Cálculo 95 % UCL muestras industriales

MUESTRAS	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
SI1	4.433	3,5	10,0	2,0	227.562	6,0	3,0	3,5	7,3	558	1.554	19.488	2,5	4.430	97	0,01	1,50	2	1.182	2.212	27	42
SI2	13.686	3,5	21,0	3,0	50.939	40,0	12,0	53,4	13,0	57	1.731	44.572	7,0	6.223	283	0,01	12,10	2	2.210	1.766	65	67
SI3	4.312	3,5	11,0	4,0	217.129	20,0	3,0	4,1	4,8	572	1.698	75.644	2,5	5.137	212	0,01	5,00	2	1.753	1.338	86	178
SI4	3.891	3,5	12,0	5,0	202.427	6,0	3,0	3,5	5,6	470	1.498	21.878	2,5	7.593	87	0,01	1,50	2	3.147	2.583	28	51
SI5	4.211	3,5	12,0	6,0	262.847	10,0	3,0	3,5	6,4	585	1.376	32.589	2,5	5.637	110	0,01	1,80	2	2.115	1.366	42	78
SI6	5.539	3,5	20,0	7,0	230.524	19,0	3,0	12,2	7,0	112	1.555	34.643	2,5	4.574	712	0,01	2,60	2	1.481	1.509	42	60
SI7	9.638	3,5	30,0	8,0	10.043	43,0	7,0	10,1	23,0	22	1.750	30.488	4,0	5.142	446	0,01	5,00	2	3.667	1.197	46	50
SI8	10.445	3,5	26,0	9,0	22.831	46,0	6,0	19,6	12,5	22	2.314	40.261	7,0	4.920	444	0,01	8,90	2	2.186	1.613	61	55
SI9	2.886	3,5	20,0	10,0	300.299	506,0	3,0	3,5	4,1	812	2.024	19.741	2,5	4.044	105	0,01	1,50	2	984	1.275	27	48
SI10	9.555	3,5	12,0	11,0	6.400	21,0	5,0	5,8	28,5	22	2.414	27.803	3,7	3.730	297	0,01	9,00	2	1.881	1.121	39	56
SI11	12.060	3,5	40,0	12,0	6.158	140,0	16,0	23,1	18,8	25	2.671	43.216	12,6	5.099	669	0,01	8,90	2	2.161	1.681	63	80
SI12	9.534	3,5	38,0	13,0	4.389	37,0	4,0	9,4	12,8	22	1.771	32.644	6,0	7.240	573	0,01	4,40	2	3.072	613	48	51
SI13	5.326	3,5	440,0	14,0	71.691	42,0	5,0	19,4	13,1	183	1.772	118.889	2,6	7.417	302	0,01	15,90	62	3.387	811	139	318
SI14	11.748	3,5	30,0	15,0	5.531	36,0	6,0	19,9	19,6	22	4.008	29.227	5,4	5.515	385	0,01	7,80	2	3.140	1.352	46	40
SI15	13.181	3,5	18,0	16,0	31.892	33,0	7,0	17,5	16,4	22	2.528	36.866	7,3	3.443	325	0,01	7,80	2	1.249	1.184	53	55
Media (Promedio)	8.030	3,5	49	9,0	110.044	67	5,7	13,9	13	234	2.044	40.530	4,7	5.343	336	0,01	6,2	6	2.241	1.441	54	82
Desv. Estándar	3.780	0	109	4,5	113.444	126	3,8	13	7	280	675	25.612	3	1.296	203	0	4	15	859	497	28	73
95% UCL	9.749	3,5	171,5	11,0	233.443	208	7,8	19,8	16	952	2.393	52.177	8	5.932	429	0	8	23	2.632	1.667	67	164

Tabla 66. Análisis estadístico muestras agrícolas

Muestras	Series Suelo	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
BVT1	Bellavista	7.461	12,7	50	54	41.966	68	5,0	42,6	13,2	137	9.881	19.532	21,6	8.376	601	0,01	10,7	16,0	1.567	4.832	39	31
BVT2	Bellavista	9.942	7,6	68	2	5.301	89	4,0	47,4	14,0	83	1.174	22.372	20,8	127	561	0,15	10,1	9,0	63	112	43	41
BVT3	Bellavista	11.735	22,2	97	2	4.620	96	6,0	121,3	15,9	108	1.712	23.465	28,4	214	869	0,11	13,9	26,0	104	108	43	37
BVT4	Bellavista	1.132	7,6	41	6	223.697	111	3,0	4,5	2,5	946	1.320	4.017	34,8	2.592	426	0,01	1,5	2,0	883	7.232	13	33
BVT5	Bellavista	7.696	11,5	69	36	43.707	251	6,0	47,2	16,2	130	12.404	24.707	19,0	8.342	803	0,01	12,3	30,0	2.031	3.263	45	32
FRN1	Freirina	4.735	5,3	11	16	44.980	20	3,0	9,4	15,8	153	4.273	13.247	4,3	4.228	149	0,01	5,6	2,0	829	237	29	31
FRN2	Freirina	5.556	7,5	29	17	33.363	41	4,0	25,6	11,0	67	4.920	17.295	10,7	4.608	306	0,01	9,3	5,0	1.673	2.449	35	32
FRN3	Freirina	7.165	6,5	31	14	17.683	66	6,0	30,4	18,1	57	9.394	23.552	10,5	5.647	364	0,01	10,5	13,0	1.216	127	45	43
FRN4	Freirina	6.078	6,6	20	20	35.412	30	3,0	15,4	13,6	154	5.289	14.941	8,7	4.976	246	0,01	6,6	3,0	823	57	31	26
FRN5	Freirina	5.333	3,5	18	2	67	33	3,0	7,8	8,9	139	1.432	13.370	5,4	236	258	0,01	1,6	2,0	160	130	25	26
FRN6	Freirina	7.391	3,5	31	2	128	42	3,0	12,5	8,1	45	2.611	16.549	15,4	259	369	0,03	5,1	2,0	143	133	33	32
FRN7	Freirina	6.996	5,1	17	6	56.984	28	5,0	14,2	26,2	228	4.700	22.027	7,5	6.599	218	0,01	10,2	2,0	1.300	337	42	54
PNA1	Paona	8.993	12,1	60	43	45.890	63	6,0	43,1	16,1	153	6.893	25.414	24,8	14.271	656	0,01	11,4	7,0	1.828	33.869	45	46
PNA2	Paona	6.676	12,1	38	40	13.625	60	5,0	46,8	13,1	51	4.875	16.166	18,3	6.942	359	0,01	9,8	12,0	1.228	4.423	36	28
PNA3	Paona	8.773	17,4	64	69	53.609	83	6,0	39,1	14,9	216	7.456	23.039	25,8	10.801	759	0,01	11,6	11,0	1.553	8.036	46	38
PNA4	Paona	8.840	10,7	51	111	48.297	76	5,0	35,9	15,1	217	13.805	21.014	26,5	12.077	447	0,01	11,0	8,0	10.073	19.600	42	38
PNA5	Paona	8.814	4,4	56	2	73	108	3,0	53,7	13,0	83	429	22.887	16,1	222	539	0,01	8,8	10,0	171	148	40	39
PNA6	Paona	7.282	9,4	45	48	77.180	67	4,0	27,3	12,5	248	7.190	17.010	20,5	10.713	478	0,01	8,7	6,0	820	5.790	36	33
PNA7	Paona	7.919	15,5	63	59	13.440	72	6,0	43,8	18,1	67	4.542	18.628	24,8	11.468	424	0,01	11,9	20,0	801	33.343	41	28
PNA8	Paona	6.864	12,3	53	51	39.405	63	5,0	28,9	13,5	164	6.806	19.304	19,6	9.360	1.427	0,01	10,3	7,0	2.053	5.255	41	35
<b>N</b>		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>Promedio</b>		7.269	9,7	46	30	39.971	73	4,6	34,8	14,0	172	5.555	18.927	18	6.103	513	0,02	9,0	9,7	1.466	6.474	38	35
<b>Mediana</b>		7.337	8,5	48	19	37.409	67	5,0	33,2	13,8	138	4.898	19.418	19	6.123	437	0,01	10,2	7,5	1.050	2.856	41	33
<b>Mínimo</b>		1.132	3,5	11	2	67	20	3,0	4,5	2,5	45	429	4.017	4	127	149	0,01	1,5	2,0	63	57	13	26
<b>Máximo</b>		11.735	22,2	97	111	223.697	251	6,0	121,3	26,2	946	13.805	25.414	35	14.271	1.427	0,15	13,9	30,0	10.073	33.869	46	54
<b>Desv. Estándar</b>		2.184	4,9	22	29	48.637	49	1,2	25,5	4,6	192	3.743	5.117	8	4.527	292	0,04	3,4	8,1	2.128	10.368	8	7
<b>Promedio Bellav.</b>		7.593	12,3	65	20	63.858	123	4,8	52,6	12,4	281	5.298	18.819	25	3.930	652	0,06	9,7	16,6	930	3.109	37	35
<b>Promedio Freirina</b>		6.179	5,4	22	11	26.945	37	3,9	16,5	14,5	120	4.660	17.283	9	3.793	273	0,01	7,0	4,1	878	496	34	35
<b>Promedio Paona</b>		8.020	11,7	54	53	36.440	74	5,0	39,8	14,5	150	6.500	20.433	22	9.482	636	0,01	10,4	10,1	2.316	13.808	41	36

Tabla 67. Cálculo 95% UCL muestras agrícolas

MUESTRAS	SERIES DE SUELO	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
BVT1	Bellavista	7.461	12,7	50	54	41.966	68	5,0	42,6	13,2	137	9.881	19.532	21,6	8.376	601	0,01	10,7	16,0	1.567	4.832	39	31
BVT2	Bellavista	9.942	7,6	68	2	5.301	89	4,0	47,4	14,0	83	1.174	22.372	20,8	127	561	0,15	10,1	9,0	63	112	43	41
BVT3	Bellavista	11.735	22,2	97	2	4.620	96	6,0	121,3	15,9	108	1.712	23.465	28,4	214	869	0,11	13,9	26,0	104	108	43	37
BVT4	Bellavista	1.132	7,6	41	6	223.697	111	3,0	4,5	2,5	946	1.320	4.017	34,8	2.592	426	0,01	1,5	2,0	883	7.232	13	33
BVT5	Bellavista	7.696	11,5	69	36	43.707	251	6,0	47,2	16,2	130	12.404	24.707	19,0	8.342	803	0,01	12,3	30,0	2.031	3.263	45	32
FRN1	Freirina	4.735	5,3	11	16	44.980	20	3,0	9,4	15,8	153	4.273	13.247	4,3	4.228	149	0,01	5,6	2,0	829	237	29	31
FRN2	Freirina	5.556	7,5	29	17	33.363	41	4,0	25,6	11,0	67	4.920	17.295	10,7	4.608	306	0,01	9,3	5,0	1.673	2.449	35	32
FRN3	Freirina	7.165	6,5	31	14	17.683	66	6,0	30,4	18,1	57	9.394	23.552	10,5	5.647	364	0,01	10,5	13,0	1.216	127	45	43
FRN4	Freirina	6.078	6,6	20	20	35.412	30	3,0	15,4	13,6	154	5.289	14.941	8,7	4.976	246	0,01	6,6	3,0	823	57	31	26
FRN5	Freirina	5.333	3,5	18	2	67	33	3,0	7,8	8,9	139	1.432	13.370	5,4	236	258	0,01	1,6	2,0	160	130	25	26
FRN6	Freirina	7.391	3,5	31	2	128	42	3,0	12,5	8,1	45	2.611	16.549	15,4	259	369	0,03	5,1	2,0	143	133	33	32
FRN7	Freirina	6.996	5,1	17	6	56.984	28	5,0	14,2	26,2	228	4.700	22.027	7,5	6.599	218	0,01	10,2	2,0	1.300	337	42	54
PNA1	Paona	8.993	12,1	60	43	45.890	63	6,0	43,1	16,1	153	6.893	25.414	24,8	14.271	656	0,01	11,4	7,0	1.828	33.869	45	46
PNA2	Paona	6.676	12,1	38	40	13.625	60	5,0	46,8	13,1	51	4.875	16.166	18,3	6.942	359	0,01	9,8	12,0	1.228	4.423	36	28
PNA3	Paona	8.773	17,4	64	69	53.609	83	6,0	39,1	14,9	216	7.456	23.039	25,8	10.801	759	0,01	11,6	11,0	1.553	8.036	46	38
PNA4	Paona	8.840	10,7	51	111	48.297	76	5,0	35,9	15,1	217	13.805	21.014	26,5	12.077	447	0,01	11,0	8,0	10.073	19.600	42	38
PNA5	Paona	8.814	4,4	56	2	73	108	3,0	53,7	13,0	83	429	22.887	16,1	222	539	0,01	8,8	10,0	171	148	40	39
PNA6	Paona	7.282	9,4	45	48	77.180	67	4,0	27,3	12,5	248	7.190	17.010	20,5	10.713	478	0,01	8,7	6,0	820	5.790	36	33
PNA7	Paona	7.919	15,5	63	59	13.440	72	6,0	43,8	18,1	67	4.542	18.628	24,8	11.468	424	0,01	11,9	20,0	801	33.343	41	28
PNA8	Paona	6.864	12,3	53	51	39.405	63	5,0	28,9	13,5	164	6.806	19.304	19,6	9.360	1.427	0,01	10,3	7,0	2.053	5.255	41	35
Media (Promedio)		7.269	10	46	30	39.971	73	5	35	14	172	5.555	18.927	18	6.103	513	0	9	10	1.466	6.474	38	35
Desv. Estándar (SD)		2.184	5	22	29	48.637	49	1	25	5	192	3.743	5.117	8	4.527	292	0	3	8	2.128	10.368	8	7
UCL 95 Bellavista		11.420	18,0	85,5	42,6	877.059	304,5	6,0	93,0	23,4	1.007,0	10.459	26.915	31,2	7.898	825,1	0,0	14,3	27,7	1.763,0	6.047,0	62,7	38,4
UCL 95 Freirina		6.932	6,6	28,2	16,5	43.002	48,0	4,7	22,7	19,1	169,7	6.500	20.273	11,7	5.659	331,3	0,0	9,4	10,8	1.300,0	2.313,0	39,5	42,1
UCL 95 Paona		8.666	14,4	59,8	73,4	53.546	84,5	5,7	45,8	15,8	200,4	9.010	22.587	24,7	12.358	867,2	0,0	11,3	13,2	6.963,0	22.806,0	43,3	39,7
UCL 95		8.133	12	54	41	107.889	92	5	48	16	242	7.003	20.905	21	7.853	626	0	12	13	2.417	20.953	41	38

Tabla 68. Análisis estadístico muestras background

MUESTRA	Al	As	Ba	B	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
BKG TTR1	5017	9,7	23	59	14971	29	3,0	16	9,4	35	403	12852	9,7	4266	298	0,01	5,4	2,0	625	57	31	25
BKG TTR2	17401	10,1	57	20	10069	70	12,0	98	16,3	29	149	45099	19,5	16820	641	0,15	12,3	10,0	615	1577	61	55
BKG CHA3	12994	17,9	78	29	18810	98	10,0	49	23,8	66	933	25913	22,4	9895	614	0,11	17,0	18,0	2559	661	48	42
BKG CQN4	9086	3,6	61	29	11254	52	7,0	24	28,5	38	817	20001	11,6	7730	285	0,01	22,9	6,0	1722	558	39	36
BKG CHA5	8831	6,7	49	18	30626	60	9,0	47	14,8	36	404	26711	9,7	7926	519	0,01	9,0	11,0	531	1100	48	69
BKG FRN 6	7684	3,5	21	2	124	43	10,9	12	8,7	26	2998	14735	13,1	228	374	0,15	1,5	2,0	170	126	29	11
BKG HSC7	10209	6,7	43	22	5497	48	6,0	27	14,5	24	87	19646	16,7	6591	509	0,01	10,0	10,0	887	962	43	30
BKG HSC8	12985	22,0	103	30	22651	186	11,0	150	17,2	79	2474	25532	21,8	8893	835	0,01	16,5	38,0	810	788	45	33
BKG FRN9	6871	3,5	29	2	7731	34	8,0	28	4,4	22	25651	88107	20,4	3644	398	0,01	12,0	7,0	646	6260	212	429
BKG PNA10	10782	29,2	45	40	7430	34	7,0	23	25,7	22	6816	28352	47,7	9294	441	0,01	17,2	2,0	2426	1290	55	43
BKG LCM11	9657	8,9	33	23	8682	52	6,0	26	16,8	31	6908	21485	18,5	8846	475	0,01	11,2	9,0	3540	781	44	37
BKG BEZ12	6665	6,9	32	50	40202	49	3,0	24	11,1	96	7136	16510	14,2	7082	229	0,03	6,5	5,0	2557	5551	33	28
BKG VTN13	8453	40,6	54	11	11713	63	12,0	36	18,9	35	6841	31798	17,7	7342	490	0,01	12,5	7,0	2390	247	54	62
BKG LCM14	5937	3,5	45	8	29485	42	8,0	47	15,3	33	10007	14933	13,7	9063	437	0,01	9,5	8,0	9423	7136	43	10
BKG PNA15	5947	10,7	35	68	29150	87	3,0	44	10,0	76	10270	15753	21,7	9082	384	0,01	6,9	11,0	9521	7073	29	25
BKG HSC16	14773	18,4	98	19	20443	303	12,0	89	14,2	79	7358	23820	34,5	7420	1237	0,01	19,2	38,0	1568	194	46	27
BKG CHA17	5695	7,0	26	24	11989	44	3,0	14	12,3	30	6611	14285	16,1	4973	311	0,01	10,3	4,0	936	405	32	19
BKG CQN18	10196	5,4	57	17	10946	70	6,0	31	14,7	48	7525	19666	18,0	7436	501	0,01	10,6	13,0	4362	20	41	28
BKG CHA20	8626	7,5	41	2	28852	58	8,0	44	15,3	32	6857	29701	9,0	8146	476	0,01	8,2	12,0	1441	92	51	77
BKG HSC19	13656	18,1	91	15	18106	310	12,0	92	13,3	68	7854	24033	28,3	6775	1266	0,01	17,7	34,0	868	109	46	25
<b>N</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Promedio</b>	<b>9573</b>	<b>12,0</b>	<b>51</b>	<b>24</b>	<b>16937</b>	<b>87</b>	<b>7,8</b>	<b>46</b>	<b>15,3</b>	<b>45</b>	<b>5905</b>	<b>25947</b>	<b>19,2</b>	<b>7573</b>	<b>536</b>	<b>0,03</b>	<b>11,8</b>	<b>12,4</b>	<b>2380</b>	<b>1749</b>	<b>52</b>	<b>56</b>
<b>Mediana</b>	<b>8959</b>	<b>8,2</b>	<b>45</b>	<b>21</b>	<b>13480</b>	<b>55</b>	<b>8,0</b>	<b>34</b>	<b>14,8</b>	<b>35</b>	<b>6829</b>	<b>22653</b>	<b>17,9</b>	<b>7583</b>	<b>476</b>	<b>0,01</b>	<b>10,9</b>	<b>9,5</b>	<b>1505</b>	<b>721</b>	<b>45</b>	<b>31</b>
<b>Mínimo</b>	<b>5017</b>	<b>3,5</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>124</b>	<b>29</b>	<b>3,0</b>	<b>12</b>	<b>4,4</b>	<b>22</b>	<b>87</b>	<b>12852</b>	<b>9,0</b>	<b>228</b>	<b>229</b>	<b>0,01</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>170</b>	<b>20</b>	<b>29</b>	<b>10</b>
<b>Máximo</b>	<b>17401</b>	<b>40,6</b>	<b>103</b>	<b>68</b>	<b>40202</b>	<b>310</b>	<b>12,0</b>	<b>150</b>	<b>28,5</b>	<b>96</b>	<b>25651</b>	<b>88107</b>	<b>47,7</b>	<b>16820</b>	<b>1266</b>	<b>0,15</b>	<b>22,9</b>	<b>38,0</b>	<b>9521</b>	<b>7136</b>	<b>212</b>	<b>429</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>3364</b>	<b>9,7</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>10400</b>	<b>82</b>	<b>3,2</b>	<b>35</b>	<b>5,8</b>	<b>23</b>	<b>5796</b>	<b>16505</b>	<b>9,2</b>	<b>3172</b>	<b>280</b>	<b>0,05</b>	<b>5,3</b>	<b>11,2</b>	<b>2660</b>	<b>2495</b>	<b>39</b>	<b>90</b>

Tabla 69. Cálculo UCL 95 muestras background

MUESTRAS	Ag	Al	As	Ba	B	Ca	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
BKG TTR1	5	5.017	10	23	59	14.971	3	29	3	16	9	35	403	12.852	10	4.266	298	0,0	5	2	625	57	31	25
BKG TTR2	5	17.401	10	57	20	10.069	3	70	12	98	16	29	149	45.099	20	16.820	641	0,2	12	10	615	1.577	61	55
BKG CHA3	5	12.994	18	78	29	18.810	3	98	10	49	24	66	933	25.913	22	9.895	614	0,1	17	18	2.559	661	48	42
BKG CQN4	5	9.086	4	61	29	11.254	3	52	7	24	29	38	817	20.001	12	7.730	285	0,0	23	6	1.722	558	39	36
BKG CHA5	5	8.831	7	49	18	30.626	3	60	9	47	15	36	404	26.711	10	7.926	519	0,0	9	11	531	1.100	48	69
BKG FRN 6	5	7.684	4	21	2	124	3	43	11	12	9	26	2.998	14.735	13	228	374	0,2	2	2	170	126	29	11
BKG HSC7	5	10.209	7	43	22	5.497	3	48	6	27	15	24	87	19.646	17	6.591	509	0,0	10	10	887	962	43	30
BKG HSC8	5	12.985	22	103	30	22.651	3	186	11	150	17	79	2.474	25.532	22	8.893	835	0,0	17	38	810	788	45	33
BKG FRN9	5	6.871	4	29	2	7.731	3	34	8	28	4	22	25.651	88.107	20	3.644	398	0,0	12	7	646	6.260	212	429
BKG PNA10	5	10.782	29	45	40	7.430	3	34	7	23	26	22	6.816	28.352	48	9.294	441	0,0	17	2	2.426	1.290	55	43
BKG LCM11	5	9.657	9	33	23	8.682	3	52	6	26	17	31	6.908	21.485	19	8.846	475	0,0	11	9	3.540	781	44	37
BKG BEZ12	5	6.665	7	32	50	40.202	3	49	3	24	11	96	7.136	16.510	14	7.082	229	0,0	7	5	2.557	5.551	33	28
BKG VTN13	5	8.453	41	54	11	11.713	3	63	12	36	19	35	6.841	31.798	18	7.342	490	0,0	13	7	2.390	247	54	62
BKG LCM14	5	5.937	4	45	8	29.485	3	42	8	47	15	33	10.007	14.933	14	9.063	437	0,0	10	8	9.423	7.136	43	10
BKG PNA15	5	5.947	11	35	68	29.150	3	87	3	44	10	76	10.270	15.753	22	9.082	384	0,0	7	11	9.521	7.073	29	25
BKG HSC16	5	14.773	18	98	19	20.443	3	303	12	89	14	79	7.358	23.820	35	7.420	1.237	0,0	19	38	1.568	194	46	27
BKG CHA17	5	5.695	7	26	24	11.989	3	44	3	14	12	30	6.611	14.285	16	4.973	311	0,0	10	4	936	405	32	19
BKG CQN18	5	10.196	5	57	17	10.946	3	70	6	31	15	48	7.525	19.666	18	7.436	501	0,0	11	13	4.362	20	41	28
BKG CHA20	5	8.626	8	41	2	28.852	3	58	8	44	15	32	6.857	29.701	9	8.146	476	0,0	8	12	1.441	92	51	77
BKG HSC19	5	13.656	18	91	15	18.106	3	310	12	92	13	68	7.854	24.033	28	6.775	1.266	0,0	18	34	868	109	46	25
Media (promedio)	5	9.573	12	51	24	16.937	3	87	8	46	15	45	5.905	25.947	19	7.573	536	0,0	12	12	2.380	1.749	52	56
95% UCL	5	10.874	17	61	31	20.957	3	167	9	62	17	54	6.120	32.155	23	10.665	651	0,1	14	18	3.667	3.344	67	75

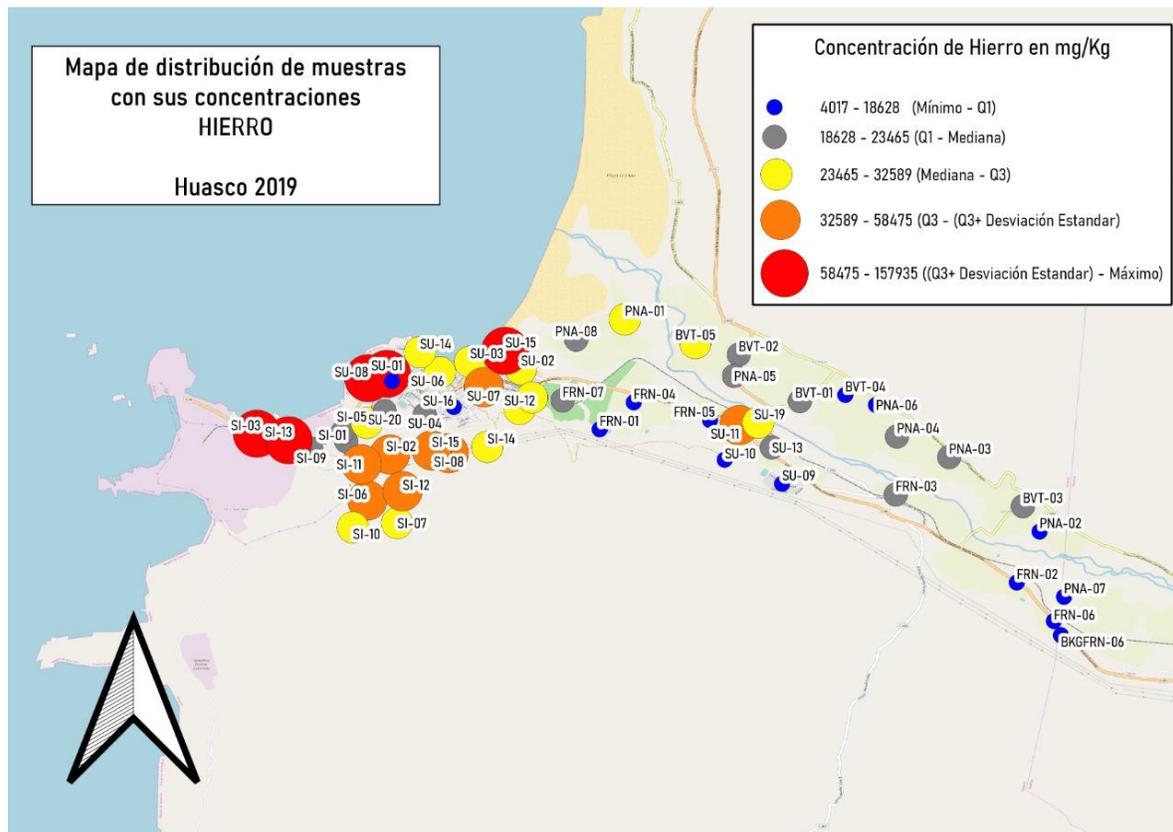
### 9.3.5 DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CONTAMINANTES

Se realizó la determinación de la distribución espacial de los contaminantes/parámetros medidos en el suelo y se transformó la información en formato shapefiles, para soporte ArcGis, con una representación gráfica para cada uno de los contaminantes/parámetros de interés, y otra en la que se crucen los resultados de todos los contaminantes/parámetros.

A modo de ejemplo, a continuación se presenta la distribución espacial del hierro, aluminio y vanadio en toda la comuna de Huasco, incluyendo todos los usos del suelo.

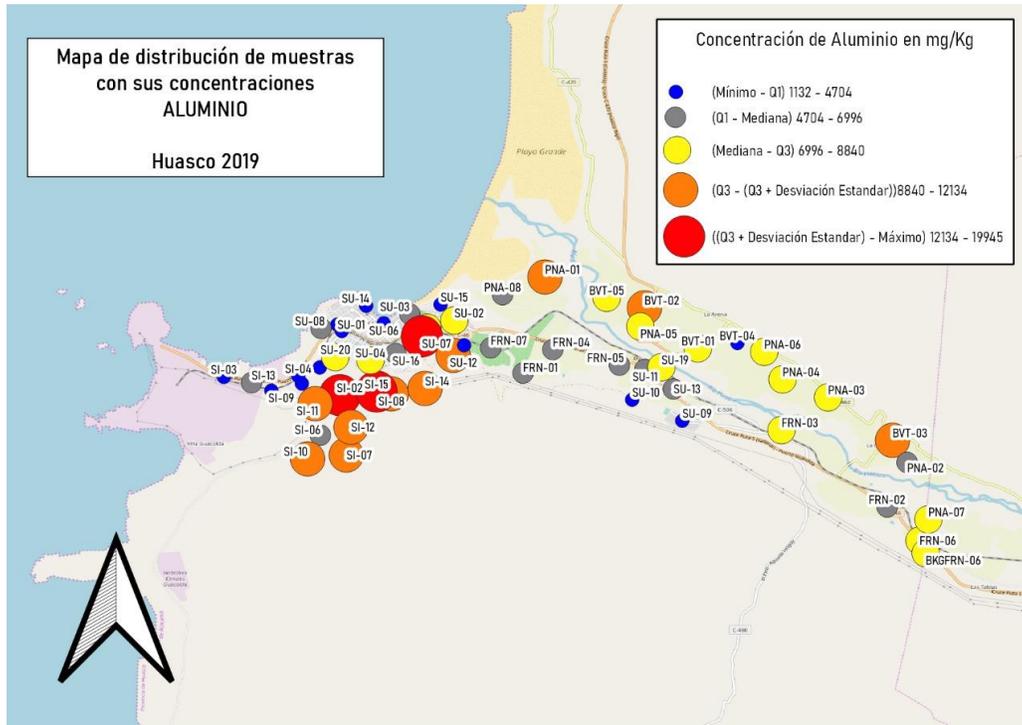
El resto de la información, se presenta en ANEXO 15.

Figura 46. Mapa distribución de concentraciones de hierro



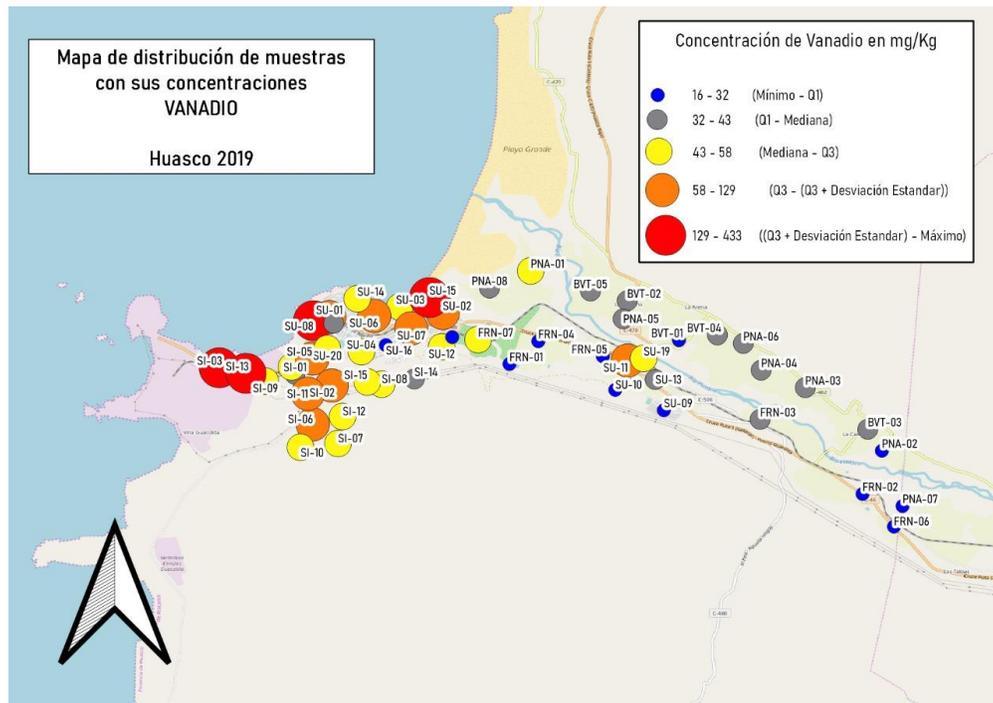
Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Mapa distribución de concentraciones de aluminio



Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Mapa distribución de concentración de vanadio



Fuente: Elaboración propia

### 9.3.6 PRESENTAR LOS RESULTADOS

El día 12 de septiembre se realizó una presentación de los resultados de la Actividad 1 y 2, incluyendo la presentación del Plan de Muestreo establecido en la Actividad 3. En esa oportunidad, integrantes del CRAS solicitaron participar de la toma de muestras con la consultora, por lo cual se tomó la decisión de participar en la colección de muestras agrícolas, por cuanto las muestras industriales y residenciales ya habían sido tomadas.

La presentación de los resultados del Segundo Informe de Avance, a la contraparte técnica, se realizó por video conferencia el día 8 de noviembre, en dependencias del Ministerio del Medio Ambiente, nivel central. La lista de asistentes y la presentación, se encuentran en ANEXO 13.

La presentación del presente Informe Final se realizó el día 11 de diciembre en la Seremi del Medio Ambiente de la región de Atacama y 12 de diciembre en la comuna de Huasco. En ANEXO 14 se presenta la lista de asistentes y la presentación.

## 9.4 ACTIVIDAD 4. DETERMINAR ZONAS DONDE SE SUPEREN LOS VALORES DE REFERENCIA

### 9.4.1 COMPARAR RESULTADOS CON VALORES DE REFERENCIA

Para determinar si las concentraciones medidas pueden implicar un eventual riesgo a la salud de las personas, se efectuó una recopilación de valores de referencia o comparación de calidad de suelo nacionales e internacionales, pues en Chile no existe una normativa de calidad para este componente ambiental. Entre estos valores se encuentran los que propone la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de EEUU (ATSDR, por sus siglas en inglés), que requieren de un cálculo según patrones sitio-específicos de exposición.

Una vez definido estas referencias, se efectuó la comparación de las concentraciones medidas en los sitios en estudio con niveles naturales o background y con valores guías y normas de referencia nacionales e internacionales para las concentraciones/valores de cada contaminante/parámetro en el suelo, considerando el escenario de exposición que se evalúa (industrial, residencial, agrícola). Entre los valores guía que se considerarán se encuentran los valores de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés), los cuales son propuestos por la ATSDR.

Se tomó en consideración, las características geológicas y climatológicas del área de estudio, especialmente en el caso de la selección de valores de referencia internacionales, los que muchas ocasiones son determinados para realidades muy distintas a la chilena, y, en este caso particular, a la de la región de Atacama. Adicionalmente, los valores de referencia son definidos en base a una serie de consideraciones, como nivel de riesgo aceptado, usos de suelo, entre otros factores, los que también se deben tener a la vista cuando se revisan y seleccionan valores de referencia internacionales.

#### A. Nivel control o *Background* considerado

Como se ha mencionado, se tomaron 18 muestras de suelo superficial en la provincia de Huasco, en zonas no impactadas por la situación que se evalúa, de modo de tener un nivel referencial general de base. Adicionalmente, para la definición de estos valores, se consideran las 36 muestras del estudio de CENMA 2017 y 6 del EIA El Morro.

#### B. Normativas de referencia internacionales revisadas

Para la comuna en estudio se recopilaron valores de referencia para uso urbano, industrial, y agrícola, dependiendo de la normativa. Las normativas de referencia revisadas para suelo superficial fueron:

1. Holanda: Norma *Leidraad Bodemsanering*, Edición 2000, Valores para suelo estándar (10% de materia orgánica y 25% de arcilla).<sup>22</sup>
2. México: Para inorgánicos - NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004<sup>23</sup>
3. Brasil: Resolución Nº 420, de 28 de diciembre de 2009, sobre criterios y valores orientadores de calidad de suelo.<sup>24</sup>
4. Suiza: Reglamento sobre la Remediación de sitios Contaminados año 1998, actualizado al año 2016 (*Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten – AltIV*).<sup>25</sup>
5. España, País Vasco: Ley 4/2015, de 25 de junio, para la Prevención y Corrección de la Contaminación del Suelo, Presidencia del Gobierno Vasco<sup>26</sup>
6. EE UU: *Regional Screening Level (RSL) Summary Table, November 2018*.<sup>27</sup>

---

<sup>22</sup> Disponible en:

[https://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS\\_12000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf](https://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_12000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf)

<sup>23</sup> Disponible en: [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat\\_ssa1-2004.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf)

<sup>24</sup> Disponible en: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterranas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/CONAMA-420-09.pdf>

<sup>25</sup> Disponible en: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19981783/201604120000/814.12.pdf>

<sup>26</sup> Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/07/24/pdfs/BOE-A-2015-8272.pdf>

7. Alemania: *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 1999.*<sup>28</sup>
8. Reino Unido: *Soil Guideline Values* (existen 11 documentos para cada componente químico).<sup>29</sup>
9. Canadá: Para inorgánicos - *Canadian Soil Quality Guidelines (CSoQGs) for the Protection of Environmental and Human Health. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).*<sup>30</sup>  
Para hidrocarburos – *Canada Wide Standards For Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).*<sup>31</sup>
10. Nueva Zelanda: *National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil.*<sup>32</sup>
11. Australia: *Assessment levels for Soil, Sediment and Water, February 2010.*<sup>33</sup>

### c. Valores de referencia propuestos por la ATSDR

Se efectuó la estimación de valores de referencia de acuerdo a lo que propone la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de EEUU (ATSDR, por sus siglas en inglés). Estos corresponden a valores guía que pueden ser empleados cuando se efectúa la evaluación de la exposición de personas a sustancias químicas, ya sea por ingestión o inhalación (no contacto dermal), contacto dermal con agua, suelo o aire (no considera alimentos, ni biota) en sitios bajo investigación.

Estos son valores conservadores que buscan prevenir el máximo riesgo y se consideran una guía ambiental de máxima seguridad, por lo que no se deben utilizar como norma ambiental, se emplean más bien como un nivel de referencial inicial que permiten definir los contaminantes críticos de un área de estudio.

La ATSDR propone los siguientes valores para exposiciones crónicas no cancerígenas:

---

<sup>27</sup> Disponible en: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/197414.pdf>

<sup>28</sup> Disponible en: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BBodSchV.pdf>

<sup>29</sup> Disponible en:

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/297676/scho0309\\_bpqm-e-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/297676/scho0309_bpqm-e-e.pdf)

<sup>30</sup> Disponible en:

<http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>

<sup>31</sup> Disponible en:

[https://www.ccme.ca/files/Resources/csm/phc\\_cws/phc\\_standard\\_1.0\\_e.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resources/csm/phc_cws/phc_standard_1.0_e.pdf)

<sup>32</sup> Disponible en:

<http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/guide-nes-for-assessing-managing-contaminants-in-soil.pdf>

<sup>33</sup> Disponible en:

[https://www.der.wa.gov.au/images/documents/your-environment/contaminated-sites/guidelines/2009641\\_-\\_assessment\\_levels\\_for\\_soil\\_sediment\\_and\\_water\\_-\\_web.pdf](https://www.der.wa.gov.au/images/documents/your-environment/contaminated-sites/guidelines/2009641_-_assessment_levels_for_soil_sediment_and_water_-_web.pdf)

**i. Guías de Evaluación para Medios Ambientales (*Environmental Media Evaluation Guides, EMEGs*)<sup>34</sup>**

EMEG es la concentración de un contaminante en el agua, el suelo o el aire, que es poco probable esté asociada con cualquier riesgo no cancerígeno apreciable, durante una duración de exposición determinada (aguda, intermedia, crónica).

La concentración EMEG se deriva usando los niveles de riesgo mínimo establecidos por la ATSDR (MRL, por sus siglas en inglés), que corresponden a dosis expresadas en mg/kg/día consideradas seguras, asociadas a una determinada duración de exposición, que puede ser aguda (<14 días), intermedia (15-365 días), o crónica (>365 días), y tomando en cuenta pesos corporales y tasas de ingesta, considerando valores definidos por defecto.

Los valores EMEG para suelo se derivan solo para la eventual ingestión de suelo, por lo que los valores MRL considerados son aquellos de tipo oral o de ingestión. Además se considera la exposición de tipo crónica (aunque como referencia general y conservadora pueden ser derivados a partir de MRL definidos para exposiciones intermedias). Debido a que la tasa de ingestión de suelo es mayor en niños que adultos, se asume que este segmento es el que tiene un mayor potencial de riesgo, y es por tanto, el que se suele considerar para la derivación del EMEG.

La ATSDR considera una tasa de ingestión de 200 mg/día y un peso de 10 kg para niños y de 100 mg/día y 70 kg respectivamente para adultos. Sin embargo, la Organización Panamericana de la Salud, propone una adaptación de factores de exposición internacionales a la realidad panamericana, considerado una tasa de ingestión de suelo de 350 mg/día para niños<sup>35</sup>.

La ecuación para derivar la concentración EMEG para suelo es la siguiente:

$$\text{EMEG} = \frac{\text{MRL (mg/kg/día)} \times \text{PC (kg)}}{\text{TI (mg/día)} \times \text{FC (Kg/mg)}}$$

---

<sup>34</sup> Información extraída de ATSDR. (2018). Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/appf.html>

<sup>35</sup> Información extraída de OPS/CEPIS. (1999). Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial/fulltex/metodolo.pdf>

Donde:

MRL = Dosis de riesgo mínimo específica del contaminante, en este caso oral y para exposición crónica (o intermedia en caso de ausencia de dosis crónica)<sup>36</sup>

PC = Peso corporal (Kg).

TI = Tasa de ingestión diaria, en este caso de suelo (mg/día)

FC = Factor conversión, de  $10^{-6}$  (Kg/mg)

En base a la ecuación anterior, se calcularon los valores EMEG para aquellos elementos que cuentan con valores de dosis de riesgo mínimo (MRL) oral propuestos por la ATSDR, considerando exposiciones crónicas e intermedias. En este caso, el cálculo consideró el escenario más conservador, es decir, asociado a la población infantil, considerada la más vulnerable y asumiendo la tasa de ingesta de suelo propuesta por la OPS (el resto de los factores de exposición considerados fueron los propuestos por la ATSDR), y también se efectuó el cálculo para adultos según factores de exposición propuestos por la ATSDR (el cálculo de los valores puede revisarse en las tablas Excel incluidas en el ANEXO 13: Resultados analíticos (digital)). Estos valores son comparados con las concentraciones de suelo de cada parámetro.

## ii. Guías de Evaluación a partir de Dosis de Referencia (Reference Dose Media Evaluation Guides - RMEG)

En caso de que no esté disponible el valor MRL para una sustancia, la ATSDR considera la derivación del valor de referencia a partir de dosis de referencia calculadas por la US EPA (RfD por sus siglas en inglés), las que han sido desarrolladas para exposiciones orales o de ingestión. La RfD es una estimación de dosis de exposición diaria a una sustancia, expresadas en mg/kg/día, que no representa un riesgo probable y perceptible para la población humana general (incluidos los subgrupos sensibles) asumiendo una exposición durante toda la vida, es decir, las RfD se asocian solo a exposiciones crónicas.

De esta forma, los valores RMEG pueden ser definidos de la misma forma que los EMEG, la diferencia radica solo en que son derivados a partir de dosis calculadas por la US EPA y siempre para exposiciones crónicas.

La ecuación para derivar la concentración RMEG para suelo es la siguiente:

$$\text{RMEG} = \frac{\text{RfD (mg/kg/día)} \times \text{PC (kg)}}{\text{TI (mg/día)}} \times \text{FC}$$

---

<sup>36</sup> Valores MRL disponibles en: <https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrllist.asp>

$$TI \text{ (mg/día)} \times FC \text{ (Kg/mg)}$$

Donde:

RfD = Dosis de referencia oral por exposición crónica, específica del contaminante. La información sobre la RfD de cada sustancia se puede obtener del banco de datos IRIS de la US EPA<sup>37</sup>.

PC = Peso corporal (Kg).

TI = Tasa de ingestión diaria, en este caso de suelo (mg/día).

FC = Factor conversión, de  $10^{-6}$  (Kg/mg)

En base a la ecuación anterior, se calcularon los valores RMEG para aquellos elementos que cuentan con valores de dosis de referencia oral crónicas (RfD) de la US EPA. En este caso, el cálculo consideró el escenario más conservador, es decir, asociado a la población infantil, considerada la más vulnerable y asumiendo la tasa de ingesta de suelo propuesta por la OPS (el resto de los factores de exposición considerados fueron los propuestos por la ATSDR), y también se efectuó el cálculo para adultos según factores de exposición propuestos por la ATSDR (el cálculo de los valores puede revisarse en las tablas Excel incluidas en el ANEXO 13: Resultados analíticos (digital)).

#### 9.4.1.1 Comparación de resultados en suelo urbano

A continuación, se presenta un resumen con las concentraciones de los parámetros medidos en el suelo urbano de la comuna (sección superior de la Tabla 70), junto con los valores de referencia recopilados (sección inferior de la Tabla 70), con el objetivo de efectuar la comparación entre ambas concentraciones (las medidas y las de referencia). Cabe indicar que los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor.

Como para la mayoría de los elementos existen varios valores de referencia internacionales y habitualmente se dan diferencias significativas entre los valores regulados en los distintos países, para simplificar la comparación se ha considerado en primera instancia seleccionar el menor de los valores de referencia internacionales existentes por elemento, correspondiente al valor más restrictivo (valores destacados en color azul en la misma Tabla), y en caso que alguna de las concentraciones medidas en el sitio supere el valor de referencia seleccionado, dicha concentración se ha destacado en color rojo en la Tabla 70, pues en principio esto estaría dando cuenta de un contenido

---

<sup>37</sup> Valores RfD disponibles en: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris\\_drafts/simple\\_list.cfm](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/simple_list.cfm)

significativo del parámetro en la respectiva muestra. Es importante mencionar, que si bien en la tabla se revisa la concentración de cada una de las muestras respecto al valor de referencia escogido, el análisis final sólo considerará el valor 95% UCL.

Para la selección del valor de referencia más bajo, se tuvo presente además el nivel background, pues el valor de referencia que se selecciona no debe ser más bajo o más restrictivo que el contenido natural del contaminante en los suelos de la zona. Por lo mismo, el valor de referencia que se ha seleccionado para cada uno de los parámetros, es la concentración inferior permitida en las referencias consultadas, y que además sea superior al nivel background.

Tabla 70. Comparación Suelo Urbano 95% UCL y muestras con valores de referencia

Muestras	Concentraciones medidas [mg/kg]																								
	Ag	Al	As	Ba	B	Ca	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V	
SU 1	5	3.116	3,5	15	2	4.565	2,5	75	5	35,7	5,3	579	1.205	73.056	2,5	4.073	377	0,0	8,8	2	823	1.042	68	108,7	
SU 2	5	7.090	3,5	21	3	1.012	2,5	46	3	26,4	13,6	48	1.503	27.818	9,5	10.300	356	0,0	4,3	2	2.580	349	47	61	
SU 3	5	4.906	3,5	60	4	4.322	2,5	79	5	544,4	10,1	278	1.625	31.971	4,9	4.743	251	0,0	4,9	2	709	1.117	50	58	
SU 4	5	7.963	3,5	23	5	4.032	2,5	39	3	25,5	13,0	243	746	21.702	6,1	3.242	457	0,0	4,9	2	790	906	38	43	
SU 5	5	7.163	3,5	27	6	5.271	2,5	38	3	25,7	12,1	220	4	17.691	8,1	4.589	542	0,0	2,8	2	882	1.207	31	31	
SU 6	5	4.666	3,5	35	7	4.619	2,5	69	3	29,3	6,8	129	956	27.410	4,9	5.773	375	0,0	4,4	5	1.865	995	45	68	
SU 7	5	19.945	7,5	37	8	3.133	2,5	265,0	19	83,2	105,8	47	1.857	48.190	16,5	5.767	1.335	0,0	56,7	59	2.976	150	78	119,6	
SU 8	5	5.554	3,5	32	9	2.274	2,5	58	9	48,8	13,7	92	503	77.655	2,5	5.869	546	0,0	12,7	2	2.664	298	118	221,1	
SU 9	5	3.212	3,5	10	10	130.373	2,5	12	3	3,5	8,8	660	4	8.856	2,5	3.308	93	0,0	1,5	2	592	1.359	5	16	
SU 10	5	3.719	3,5	9	11	3.937	2,5	53	14	3,5	9,2	198	4	11.674	2,5	6.427	453	0,0	1,5	379	2.422	244	21	21	
SU 11	5	5.686	3,5	31	12	3.779	2,5	239,0	3	30,3	5,9	78	4	35.624	8,0	5.666	684	0,0	6,4	7	3.162	484	51	83	
SU 12	5	10.070	3,5	30	2	3.191	2,5	47,0	9	30,6	23,1	22	2.312	30.858	8,2	5.377	731	0,0	9,4	5	3.742	483	53	53	
SU 13	5	5.868	3,5	26	2	96.028	2,5	117	3	19,8	13,0	81	4	19.037	5,6	6.829	363	0,0	5,9	2	3.647	198	32	35	
SU 14	5	3.521	4,7	130	2	74.326	2,5	187	3	154,2	19,1	183	4	32.290	2,5	7.164	390	0,0	7,3	58	4.017	371	47	51	
SU 15	5	4.374	3,5	14	2	154.928	2,5	54	15	80,3	11,3	62	10.181	157.935	3,2	3.143	593	0,0	26,7	13	683	1.203	253	432,5	
SU 16	5	5.944	3,5	25	2	175.789	2,5	42	3	15,2	8,1	197	1.663	16.555	5,1	3.404	242	0,0	3,0	2	668	1.262	29	21	
SU 17	5	4.704	3,5	26	2	379	2,5	51	3	58,4	6,8	223	3.796	29.028	4,2	71	386	0,0	3,6	3	276	117	44	29	
SU 18	5	2.547	3,5	9	2	3.745	2,5	15	3	3,5	9,3	689	402	16.306	2,5	5.918	123	0,0	1,5	2	1.259	182	27	40	
SU 19	5	7.027	3,5	27	2	4.547	2,5	159	3	19,7	14,2	56	5.818	26.658	8,0	150	420	0,0	7,5	13	63	100	45	54	
SU 20	5	7.436	3,5	15	2	4.375	2,5	33	3	9,8	14,7	43	4	20.472	5,1	144	284	0,0	3,4	2	60	103	37	44	
95% UCL	5	7.723	4,1	40,5	8,2	90.546	2,5	119,2	10,5	178,3	37,2	312	7.188	49.957	7,0	5.581	553	0,01	13,9	110	2.625	888	84,6	115,7	
Valores de Referencia [mg/kg]																									
País y tipo	Uso asociado	Ag	Al	As	Ba	B	Ca	Cd	Zn	Co	Cu	Cr		Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	V
												III	VI												
Específico zona evaluación	Promedio control o background	5	8.656	17	61	24	20.957	1,6	167	9	62	10,5	54	6.120	32.155	23	10.665	651	0,08	14	16	3.667	3.344	67	75
USA - ASTDR - EMEG niño	en base a MRL	-	28.571	9	5.714	-	-	-	8.571	286	286	26	57.143	-	-	-	-	-	57	-	-	-	-	-	286
USA - ASTDR - EMEG adulto	en base a MRL	-	700.000	210	140.000	-	-	-	210.000	7.000	7.000	630	1.400.000	-	-	-	-	-	1.400	-	-	-	-	-	7.000
USA - ASTDR - RMEG niño	en base RfD	-	-	9	5.714	-	-	-	8.571	-	-	86	17.143	-	-	-	-	4.000	9	571	-	-	-	-	257
USA - ASTDR - RMEG adulto	en base RfD	-	-	210	140.000	-	-	-	210.000	-	-	2.100	420.000	-	-	-	-	98.000	210	14.000	-	-	-	-	6.300
Holanda	Valor intervención	15	-	55	625	-	-	12	720	240	190	380	-	-	-	-	-	-	-	210	530	-	-	-	250
México (Valor ref. u objetivo)	Agrícola/res. II/com.	390	-	22	5.400	-	-	37	-	-	-	280	-	-	-	-	-	-	23	1.600	400	-	-	-	78
Brasil (valor de investigación)	Residencial	50	-	55	500	-	-	8	1.000	65	400	300	-	-	-	-	-	-	100	300	-	-	-	-	-
País vasco - VIE B (gatillan ev. riesgos)	Urbano	-	-	30	-	-	-	8	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	150	150	-	-	-	-
USA - 2015	Residencial	39	7.700	1	1.500	-	-	7	2.300	2	310	180.000	-	4.700	-	5.500	160	-	180	-	84	400	-	-	39
Alemania (Valor de investigación)	Residencial	-	-	50	-	-	-	20	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-	140	400	-	-	-	-
Reino Unido	Residencial	-	-	32	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-	-	-	-
Canadá - protección humana y eco.	Residencial	20	-	12	500	-	-	10	200	50	63	64	-	-	-	-	-	-	50	140	-	-	-	-	130
Nva. Zelanda (riesgo salud inaceptable)	Residencial rural	-	-	20	-	-	-	5	-	-	32.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	730	-	-	-	-
	Residencial	-	-	24	-	-	-	5	-	-	32.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	730	-	-	-	-
	Res. alta densidad	-	-	50	-	-	-	370	-	-	60.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.600	-	-	-	-
Australia (valores de investigación)	Res. sin jardín	-	-	400	-	-	-	400	28.000	400	4.000	480.000	400	-	-	-	-	-	6.000	-	2.400	1.200	-	-	-
	Res. con jardín	-	-	100	15.000	-	-	100	7.000	100	1.000	120.000	100	-	-	-	-	-	1.500	-	600	300	-	-	550

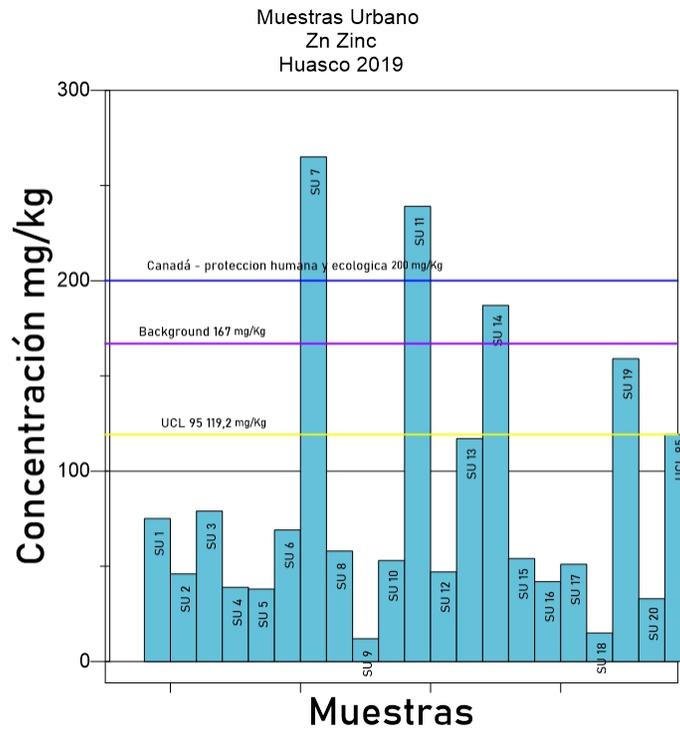
**Nota:**

1) Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos; 2) En color azul se presentan los valores de comparación escogidos, y en rojo las concentraciones que superan ese valor

Fuente: Elaboración propia

A continuación, para los parámetros donde las concentraciones son más significativas (en color rojo en la tabla anterior), se presentan gráficos donde se analiza el 95 % UCL (línea amarilla), background (línea morada) y se compara con el valor de referencia escogido (línea azul):

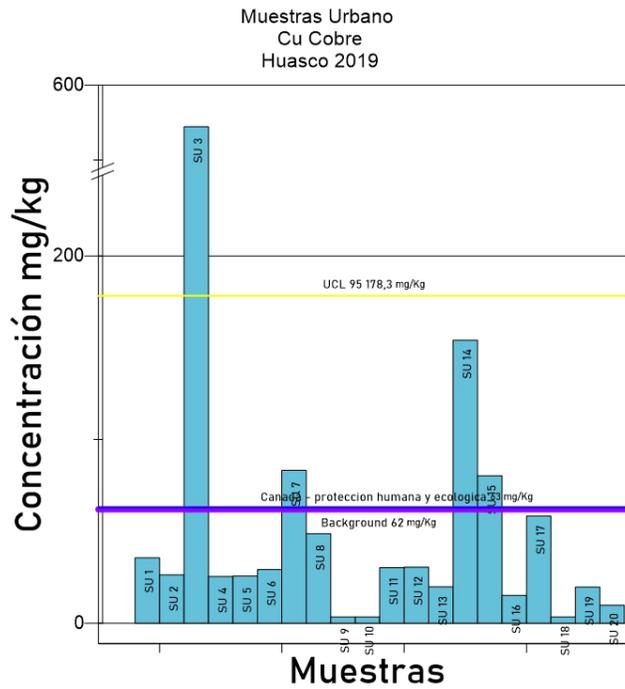
Figura 49. Gráfico de comparación de concentraciones de Zn en muestras de suelo urbanas



Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

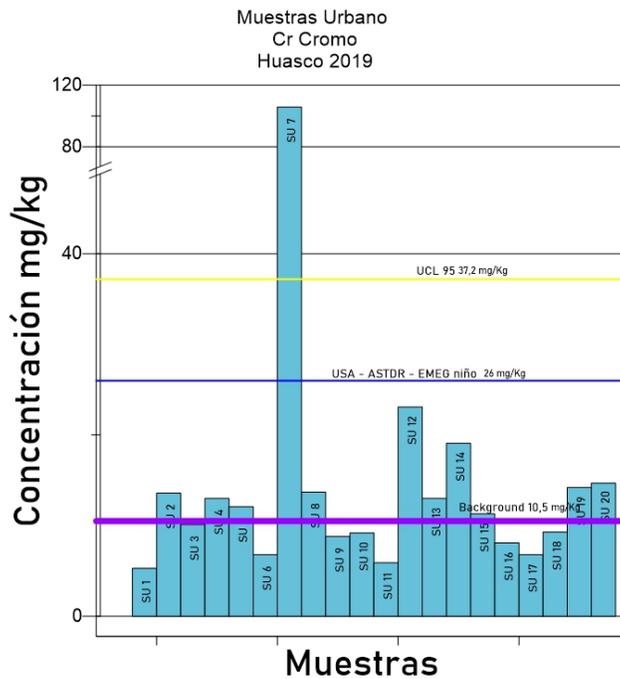
A continuación, se presenta el gráfico para el Cu, donde el valor de referencia es 63 [mg/kg] y el background es 62 [mg/kg], por lo cual la línea azul y morada del próximo gráfico casi se superponen.

Figura 50. Gráfico de comparación de concentraciones de Cu en muestras de suelo urbanas



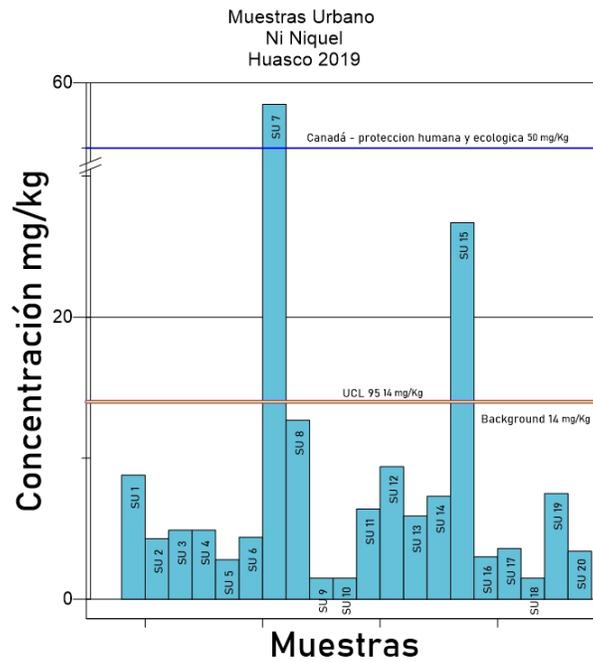
Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 51. Gráfico de comparación de concentraciones de Cr en muestras de suelo urbanas



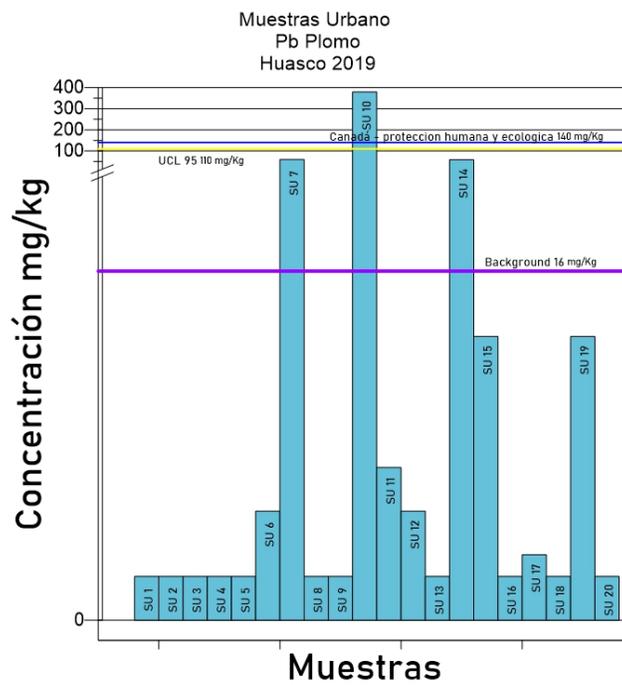
Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 52. Gráfico de comparación de concentraciones de Ni en muestras de suelo urbanas



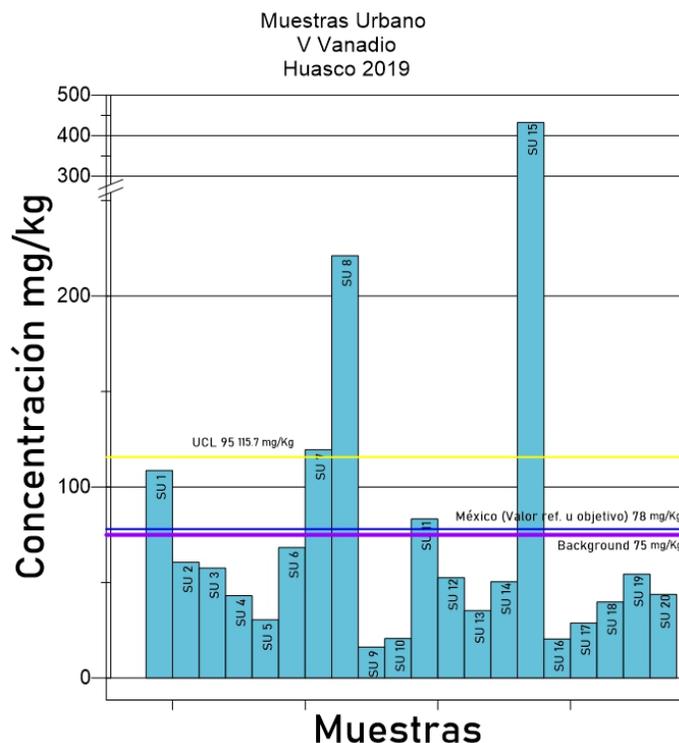
Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 53. Gráfico de comparación de concentraciones de Pb en muestras de suelo urbanas



Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 54. Gráfico de comparación de concentraciones de V en muestras de suelo urbanas



Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Con la información obtenida de los gráficos y respecto a la presencia de contaminantes considerando el 95% UCL, se puede concluir lo siguiente:

- El **vanadio (V)** que corresponde a un valor de 115, 7 [mg/kg] es superado frente al valor de referencia escogido de México de 78 [mg/kg]. Si se compara con el segundo menor valor de referencia, que corresponde a Canadá (130 [mg/kg]), no se superaría el valor.
- El **cobre (Cu)** que corresponde a 178, 3 [mg/kg] es superado frente al valor de referencia escogido de Canadá de 63 [mg/kg]. Si se compara con el segundo menor valor de referencia, que corresponde a Holanda (190 [mg/kg]), no se superaría el valor.
- El **chromo (Cr)** que corresponde a 37,2 [mg/kg] es superado frente al valor de EMEG niño que es 26 [mg/kg]. Si se compara con el segundo menor valor de referencia, que corresponde a Canadá (64 [mg/kg]), no se superaría el valor.
- Como el **hierro (Fe)** tiene un valor background de 32.155 [mg/kg], no habría valor de referencia para comparar, ya que el valor correspondiente a USA, es más bajo que éste (5.500 [mg/kg]).

Si se analiza la situación con cada muestra, aunque este análisis no es relevante ni concluyente, la situación sería la siguiente:

- **Cinc (Zn):** Solo dos muestras superan el valor de referencia escogido, el de Canadá, que corresponde a 200 [mg/kg], la muestra SU-7 (265 [mg/kg]) y SU-11 (239 [mg/kg]).
- **Cobre (Cu):** Respecto a la referencia canadiense considerada que corresponde a 63 [mg/kg], 4 muestras son superadas: SU-3 (544,4 [mg/kg]), SU-7 (83,2 [mg/kg]), SU-14 (154,2 [mg/kg]) y SU-15 (80,3 [mg/kg]).
- **Cromo (Cr):** Considerando el valor EMEG para niño (26 [mg/kg]), que es muy conservador, se supera solo la muestra SU-7 que tiene un valor de 105,8 [mg/kg].
- **Níquel (Ni):** Considerando el valor de referencia de Canadá (50 [mg/kg]), solo la muestra SU-7 es superada levemente (56,7 [mg/kg]).
- **Plomo (Pb):** Considerando el valor de referencia de Canadá (140 [mg/kg]), solo la muestra SU-10 se encuentra superada (379 [mg/kg]).
- **Vanadio (V):** Considerando el valor de referencia de México que corresponde a 78 [mg/kg], 4 muestras son superadas: SU-1 (108,7 [mg/kg]), SU-7 (119,6 [mg/kg]), SU-8 (221,1 [mg/kg]) y SU-15 (432,5 [mg/kg]).

#### 9.4.1.2 Comparación de resultados en suelo industrial

A continuación, se presenta un resumen con las concentraciones de los parámetros medidos en el suelo industrial de la comuna (sección superior de la Tabla 71), junto con los valores de referencia recopilados (sección inferior de la Tabla 71), con el objetivo de efectuar la comparación entre ambas concentraciones (las medidas y las de referencia).

Como para la mayoría de los elementos existen varios valores de referencia internacionales y habitualmente se dan diferencias significativas entre los valores regulados en los distintos países, para simplificar la comparación se ha considerado en primera instancia seleccionar el menor de los valores de referencia internacionales existentes por elemento, correspondiente al valor más restrictivo (valores destacados en color azul en la Tabla 71), y en caso que alguna de las concentraciones medidas en el sitio supere el valor de referencia seleccionado, dicha concentración se ha destacado en color rojo en la Tabla 71, pues en principio esto estaría dando cuenta de un contenido significativo del parámetro en la respectiva muestra.

Para la selección del valor de referencia más bajo, se tuvo presente además el nivel background, pues el valor de referencia que se selecciona no debe ser más bajo o más

restrictivo que el contenido natural del contaminante en los suelos de la zona. Por lo mismo, el valor de referencia que se ha seleccionado para cada uno de los parámetros, es la concentración inferior permitida en las referencias consultadas, y que además sea superior al nivel background.

**Tabla 71. Comparación Suelo Industrial 95% UCL y muestras con valores de referencia**

Muestras	Ag	Al	As	Ba	B	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	V			
S11	5	4.433	3,5	10,0	2,0	2,5	6,0	3,0	3,5	7,3	558	19.488	2,5	4.430	97	0,01	1,50	2,0	42			
S12	5	13.686	3,5	21,0	3,0	2,5	40,0	12,0	53,4	13,0	57	44.572	7,0	6.223	283	0,01	12,10	2,0	67			
S13	5	4.312	3,5	11,0	4,0	2,5	20,0	3,0	4,1	4,8	572	75.644	2,5	5.137	212	0,01	5,00	2,0	178			
S14	5	3.891	3,5	12,0	5,0	2,5	6,0	3,0	3,5	5,6	470	21.878	2,5	7.593	87	0,01	1,50	2,0	51			
S15	5	4.211	3,5	12,0	6,0	2,5	10,0	3,0	3,5	6,4	585	32.589	2,5	5.637	110	0,01	1,80	2,0	78			
S16	5	5.539	3,5	20,0	7,0	2,5	19,0	3,0	12,2	7,0	112	34.643	2,5	4.574	712	0,01	2,60	2,0	60			
S17	5	9.638	3,5	30,0	8,0	2,5	43,0	7,0	10,1	23,0	22	30.488	4,0	5.142	446	0,01	5,00	2,0	50			
S18	5	10.445	3,5	26,0	9,0	2,5	46,0	6,0	19,6	12,5	22	40.261	7,0	4.920	444	0,01	8,90	2,0	55			
S19	5	2.886	3,5	20,0	10,0	2,5	506,0	3,0	3,5	4,1	812	19.741	2,5	4.044	105	0,01	1,50	2,0	48			
S110	5	9.555	3,5	12,0	11,0	2,5	21,0	5,0	5,8	28,5	22	27.803	3,7	3.730	297	0,01	9,00	2,0	56			
S111	5	12.060	3,5	40,0	12,0	2,5	140,0	16,0	23,1	18,8	25	43.216	12,6	5.099	669	0,01	8,90	2,0	80			
S112	5	9.534	3,5	38,0	13,0	2,5	37,0	4,0	9,4	12,8	22	32.644	6,0	7.240	573	0,01	4,40	2,0	51			
S113	5	5.326	3,5	440,0	14,0	2,5	42,0	5,0	19,4	13,1	183	118.889	2,6	7.417	302	0,01	15,90	62,0	318			
S114	5	11.748	3,5	30,0	15,0	2,5	36,0	6,0	19,9	19,6	22	29.227	5,4	5.515	385	0,01	7,80	2,0	40			
S115	5	13.181	3,5	18,0	16,0	2,5	33,0	7,0	17,5	16,4	22	36.866	7,3	3.443	325	0,01	7,80	2,0	55			
95% UCL	5	9.749	3,5	171,5	11	2,5	208	7,79	19,8	16,17	952,0	52.177	7,96	5.932	429,0	0,01	8,21	23,4	164			
Valores de Referencia [mg/kg]																						
País y tipo	Uso asociado	Ag	Al	As	Ba	B	Cd	Zn	Co	Cu	Cr		Sr	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	V	
											III	VI										
Específico zona evaluación	Promedio control o background	5	8.656	17	61	24	-	-	9	62	10,5	26	57.143	-	-	-	-	57	-	-	286	
USA - ASTDR - EMEG niño	en base a MRL	-	28.571	9	5.714	5.714	-	-	286	286	-	630	1.400.000	-	-	-	-	1.400	-	-	7.000	
USA - ASTDR - EMEG adulto	en base a MRL	-	700.000	210	140.000	140.000	-	-	7.000	7.000	-	86	17.143	-	-	-	-	4.000	9	571	-	257
USA - ASTDR - RMEG niño	en base RID	143	-	9	5.714	5.714	-	-	-	-	-	86	17.143	-	-	-	-	4.000	9	571	-	257
USA - ASTDR - RMEG adulto	en base RID	3.500	-	210	140.000	140.000	-	-	-	-	-	2100	420.000	-	-	-	-	98.000	210	14.000	-	6.300
Holanda	Valor intervención	15	-	55	625	-	12	-	240	190	380	-	-	-	-	-	-	10	210	530	250	
México (Valor de referencia u objetivo)	Uso Industrial	5.100	-	260	67.000	-	450	-	-	-	510	-	-	-	-	-	-	310	20.000	800	1.000	
Brasil (valor de intervención)	Industrial	100	-	150	750	-	20	-	90	600	400	-	-	-	-	-	-	70	130	900	-	
Suiza	Valor de remediación	-	-	-	-	-	-	-	-	40	50	-	-	-	-	-	-	1	50	50	-	
País vasco - VIE B, valores que gatillan ev. de riesgos	Industrial	-	-	200	-	-	50	-	-	-	550	-	-	-	-	-	-	40	800	1.000	-	
USA - 2018	Industrial	5.800	1.100.000	3	220.000	230.000	98	-	350	47.000	1.800.000	6	70.000	820.000	-	-	2.600	460	22.000	800	5.800	
Alemania (Valor de investigación)	Comercial e Industrial	-	-	140	-	-	60	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	-	80	900	2.000	-	
Reino Unido	Comercial	-	-	640	-	-	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.600	1.800	-	130	
Canadá (Suelo) protección del medio ambiente y salud humana	Industrial	40	-	12	2.000	-	22	-	300	91	87	-	-	-	-	-	-	50	89	600	130	
Nva. Zelanda (suelo) valores detonadores sobre los cuales el riesgo a la salud es inaceptable	Industrial/comercial	-	-	70	-	10.000	1.600	-	-	10.000	10.000	6.300	-	-	-	-	-	4.200	-	3.300	-	
Australia - valores de investigación	Comercial/Industrial	-	-	500	190.000	15.000	100	-	500	5.000	600.000	500	-	-	-	-	-	7.500	75	3.000	1.500	

**Nota:**

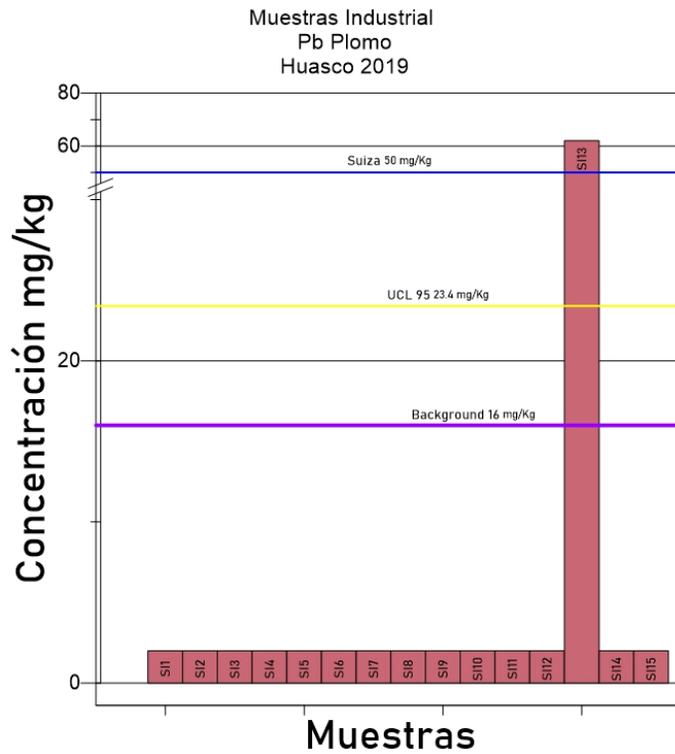
Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos.

En color azul se presentan los valores de comparación escogidos, y en rojo las concentraciones que superan ese valor.

Fuente: Elaboración propia

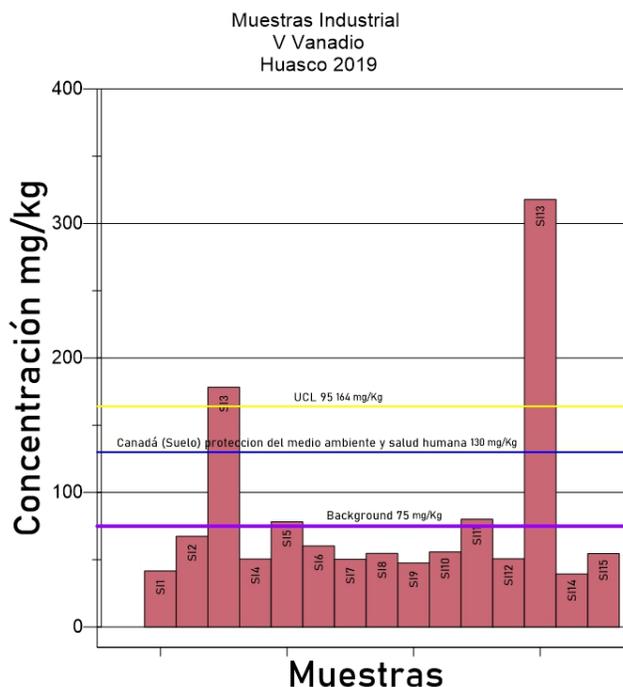
A continuación, para los parámetros donde las concentraciones son más significativas (en rojo en la tabla anterior), se presentan gráficos donde se analiza el 95 % UCL (línea amarilla), background (línea morada) y se compara con el valor de referencia escogido (línea azul).

Figura 55. Gráfico de comparación de concentraciones de Pb en muestras de suelo industrial



Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 56. Gráfico de comparación de concentraciones de V en muestras de suelo industrial



Respecto a la presencia de contaminantes considerando el 95% UCL, se puede observar que:

- Solo el **vanadio (V)** que corresponde a un valor de 164 [mg/kg] es superado frente al valor de referencia escogido de Canadá de 130 [mg/kg].

Si se analiza la situación con cada muestra, aunque este análisis no es relevante ni concluyente, la situación sería la siguiente:

- **Plomo (Pb):** Considerando el valor de referencia de Suiza (50 [mg/kg]), solo la muestra SI-13 se encuentra levemente superada (62 [mg/kg]). Si se considera la norma holandesa que corresponde a 350 [mg/kg], no se superaría ningún valor.
- **Vanadio (V):** Considerando el valor de referencia de Canadá que corresponde a 130 [mg/kg], 2 muestras son superadas: SI-3 (178 [mg/kg]) y SI-13 (318 [mg/kg]). Si se considera la norma holandesa que corresponde a 250 [mg/kg], no se superaría ningún valor.

#### 9.4.1.3 Comparación de resultados en suelo de uso agrícola

A continuación, se presenta un resumen con las concentraciones de los parámetros medidos en el suelo industrial de la comuna (sección superior de la Tabla 72), junto con los valores de referencia recopilados (sección inferior de la misma Tabla), con el objetivo de efectuar la comparación entre ambas concentraciones (las medidas y las de referencia).

Como para la mayoría de los elementos existen varios valores de referencia internacionales y habitualmente se dan diferencias significativas entre los valores regulados en los distintos países, para simplificar la comparación se ha considerado en primera instancia seleccionar el menor de los valores de referencia internacionales existentes por elemento, correspondiente al valor más restrictivo (valores destacados en color azul en la Tabla 72), y en caso que alguna de las concentraciones medidas en el sitio supere el valor de referencia seleccionado, dicha concentración se ha destacado en color rojo, pues en principio esto estaría dando cuenta de un contenido significativo del parámetro en la respectiva muestra.

Para la selección del valor de referencia más bajo, se tuvo presente además el nivel background, pues el valor de referencia que se selecciona no debe ser más bajo o más restrictivo que el contenido natural del contaminante en los suelos de la zona. Por lo mismo el valor de referencia que se ha seleccionado para cada uno de los parámetros, es la concentración inferior permitida en las referencias consultadas, y que además sea superior al nivel background.

Es importante mencionar, que para el caso de suelos agrícolas, el análisis del 95% UCL se hizo también por cada serie de suelo identificada: Bellavista, Frerina y Paona.

Tabla 72. Comparación Suelo Agrícola 95% UCL y muestras con valores de referencia

MUESTRAS	SERIES DE SUELO	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V	
BVT1	Bellavista	5	7.461	12,7	50	2,5	68	5,0	42,6	13,2	137	19.532	601	0,01	10,7	16,0	31	
BVT2	Bellavista	5	9.942	7,6	68	2,5	89	4,0	47,4	14,0	83	22.372	561	0,15	10,1	9,0	41	
BVT3	Bellavista	5	11.735	22,2	97	2,5	96	6,0	121,3	15,9	108	23.465	869	0,11	13,9	26,0	37	
BVT4	Bellavista	5	1.132	7,6	41	2,5	111	3,0	4,5	2,5	946	4.017	426	0,01	1,5	2,0	33	
BVT5	Bellavista	5	7.696	11,5	69	2,5	251	6,0	47,2	16,2	130	24.707	803	0,01	12,3	30,0	32	
FRN1	Freirina	5	4.735	5,3	11	2,5	20	3,0	9,4	15,8	153	13.247	149	0,01	5,6	2,0	31	
FRN2	Freirina	5	5.556	7,5	29	2,5	41	4,0	25,6	11,0	67	17.295	306	0,01	9,3	5,0	32	
FRN3	Freirina	5	7.165	6,5	31	2,5	66	6,0	30,4	18,1	57	23.552	364	0,01	10,5	13,0	43	
FRN4	Freirina	5	6.078	6,6	20	2,5	30	3,0	15,4	13,6	154	14.941	246	0,01	6,6	3,0	26	
FRN5	Freirina	5	5.333	3,5	18	2,5	33	3,0	7,8	8,9	139	13.370	258	0,01	1,6	2,0	26	
FRN6	Freirina	5	7.391	3,5	31	2,5	42	3,0	12,5	8,1	45	16.549	369	0,03	5,1	2,0	32	
FRN7	Freirina	5	6.996	5,1	17	2,5	28	5,0	14,2	26,2	228	22.027	218	0,01	10,2	2,0	54	
PNA1	Paona	5	8.993	12,1	60	2,5	63	6,0	43,1	16,1	153	25.414	656	0,01	11,4	7,0	46	
PNA2	Paona	5	6.676	12,1	38	2,5	60	5,0	46,8	13,1	51	16.166	359	0,01	9,8	12,0	28	
PNA3	Paona	5	8.773	17,4	64	2,5	83	6,0	39,1	14,9	216	23.039	759	0,01	11,6	11,0	38	
PNA4	Paona	5	8.840	10,7	51	2,5	76	5,0	35,9	15,1	217	21.014	447	0,01	11,0	8,0	38	
PNA5	Paona	5	8.814	4,4	56	2,5	108	3,0	53,7	13,0	83	22.887	539	0,01	8,8	10,0	39	
PNA6	Paona	5	7.282	9,4	45	2,5	67	4,0	27,3	12,5	248	17.010	478	0,01	8,7	6,0	33	
PNA7	Paona	5	7.919	15,5	63	2,5	72	6,0	43,8	18,1	67	18.628	424	0,01	11,9	20,0	28	
PNA8	Paona	5	6.864	12,3	53	2,5	63	5,0	28,9	13,5	164	19.304	1.427	0,01	10,3	7,0	35	
UCL 95 Bellavista		5	11.420	18,0	85,5	2,5	200,0	6,0	93,0	23,4	1.007	26.915	825	0,00	14,3	27,7	38,4	
UCL 95 Freirina		5	6.932	6,6	28,2	2,5	48,0	4,7	22,7	19,1	169	20.273	331	0,02	9,4	10,8	42,1	
UCL 95 Paona		5	8.666	14,4	59,8	2,5	84,5	5,7	45,8	15,8	200	22.587	867	0,00	11,3	13,2	39,7	
UCL 95		5	8.133	11,6	54,0	2,5	92,37	5,03	47,92	15,78	242,10	20.905	626	0,06	12,31	12,71	37,78	
Valores de Referencia [mg/kg]																		
País y tipo	Uso asociado	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr		Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
										III	VI							
Espeífico zona evaluación	Promedio control o background	5	8.656	17	61	1,6	167	9	62	10,5	54	32.155	651	0,08	14	16	75	
USA - ASTDR - EMEG niño	en base a MRL	-	28.571	9	5.714	-	-	286	286	-	26	57.143	-	-	57	-	-	286
USA - ASTDR - EMEG adulto	en base a MRL	-	700.000	210	140.000	-	-	7.000	7.000	-	630	1.400.000	-	-	1.400	-	-	7.000
USA - ASTDR - RMEG niño	en base RfD	143	-	9	5.714	-	-	-	-	-	86	17.143	-	4.000	9	571	-	257
USA - ASTDR - RMEG adulto	en base RfD	3.500	-	210	140.000	-	-	-	-	-	2100	420.000	-	98.000	210	14.000	-	6.300
Alemania	Uso agrícola	-	-	50	-	20	-	-	-	-	400	-	-	-	20	-	400	-
México (Valor de referencia u objetivo)	Uso agr/res/comer	390	-	22	5.400	37	-	-	-	-	280	-	-	-	23	1.600	400	78
Brasil (valor de intervención)	Valor intervención/uso agrícola	0	-	3,5	75	<0,5	60	13	35	40	-	-	-	0,1	13	17	275	
País vasco - VIE B, valores que gñtillan ev. de riesgos	Otros usos	-	-	200	-	50	-	-	-	550	-	-	-	40	800	1.000		
USA - 2015	Residencial	39	7.700	1	1.500	7	2.300	2	310	180.000	4.700	5.500	180		84	400	39	
Canadá (Suelo) protección del medio ambiente y salud humana	Agrícola	20	-	12	750	1,4	200	40	63	64	-	-	-	6,6	50	70	130	
Australia - valores de investigación	Uso residencial con jardín aaccesible	-	-	100	15.000	20	7.000	100	1.000	100	-	-	1.500	15	600	300	550	
Suelos agrícolas III región (NIA, 1990)		-	-	-	-	3	81		31	-	-	-	-	-	-	-	15	-

Nota: Los valores reportados por el laboratorio como inferiores al LD, se han informado en la tabla como iguales a este valor, lo que también ha sido considerado así para el cálculo de los estadígrafos estadísticos.

En color azul se presentan los valores de referencia escogidos, y en rojo las concentraciones que superan ese valor.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, para los parámetros donde las concentraciones son más significativas (indicadas en rojo en la tabla anterior), se presentan gráficos donde se analiza el 95 % UCL (línea amarilla), 95 % UCL Serie Freirina (línea naranja), 95 % UCL Serie Paona (línea roja), 95 % UCL Serie Bellavista (línea verde) background (línea morada) y se compara con el valor de referencia escogido (línea azul).

Figura 57. Gráfico de comparación de concentraciones de As en muestras de suelo agrícola

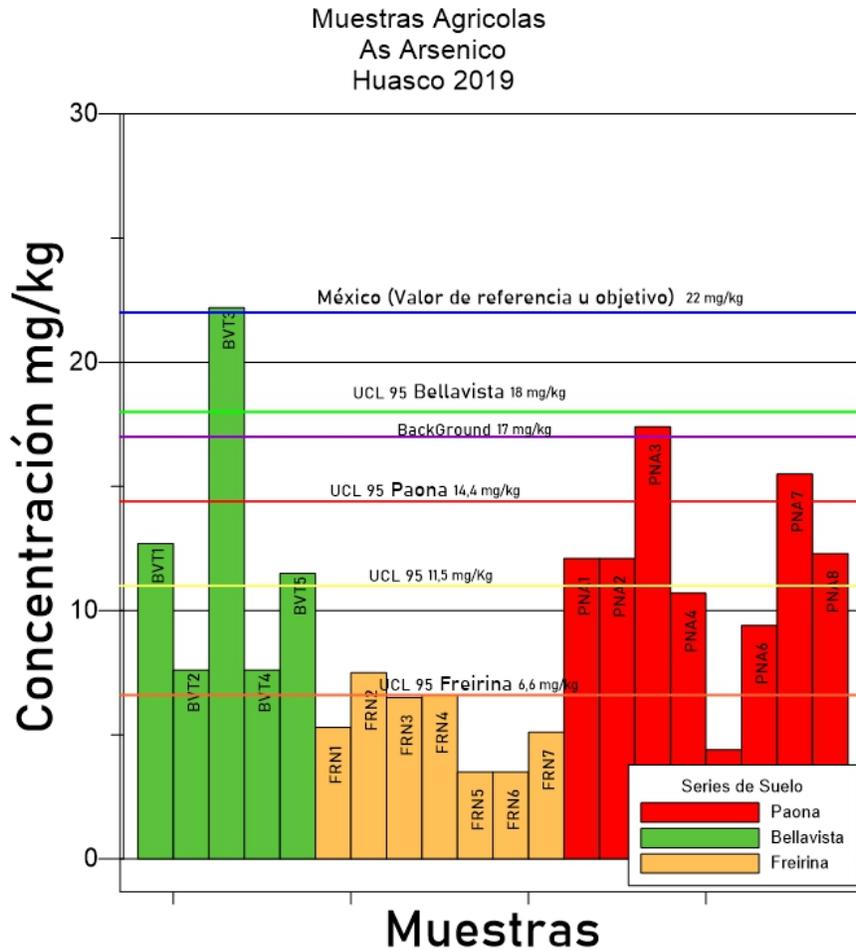
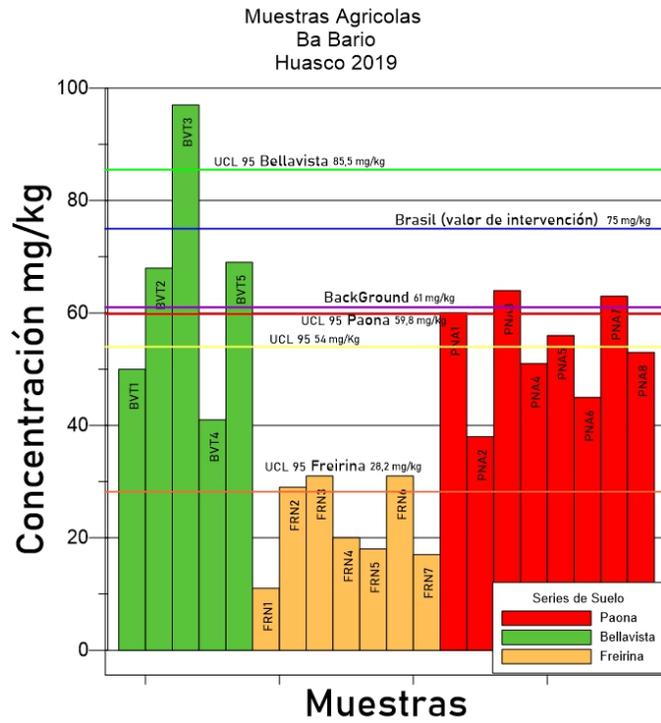
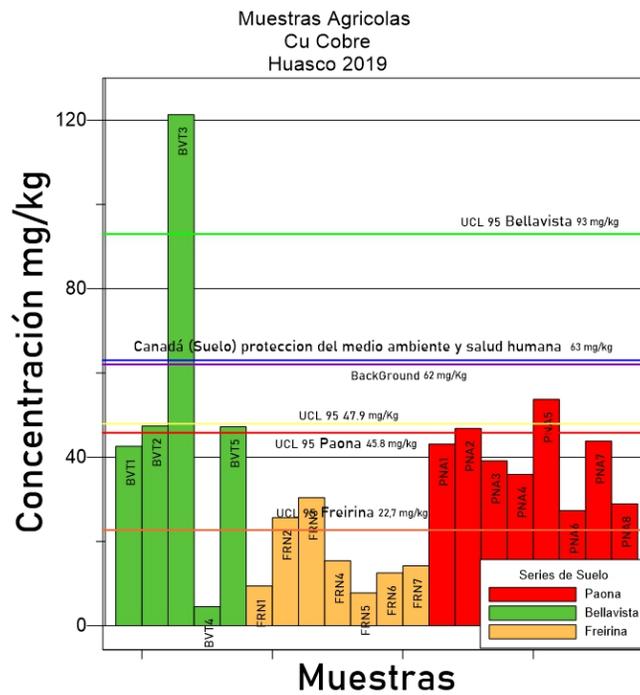


Figura 58. Gráfico de comparación de concentraciones de Ba en muestras de suelo agrícola



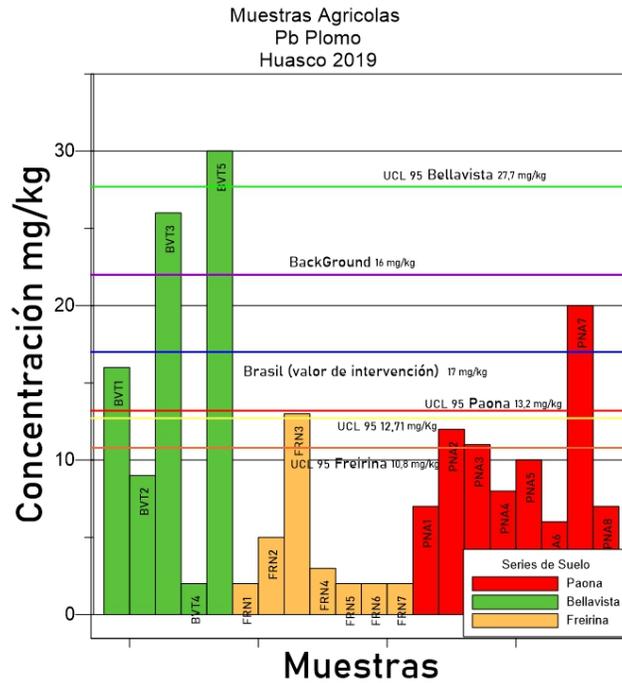
Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 59. Gráfico de comparación de concentraciones de Cu en muestras de suelo agrícola



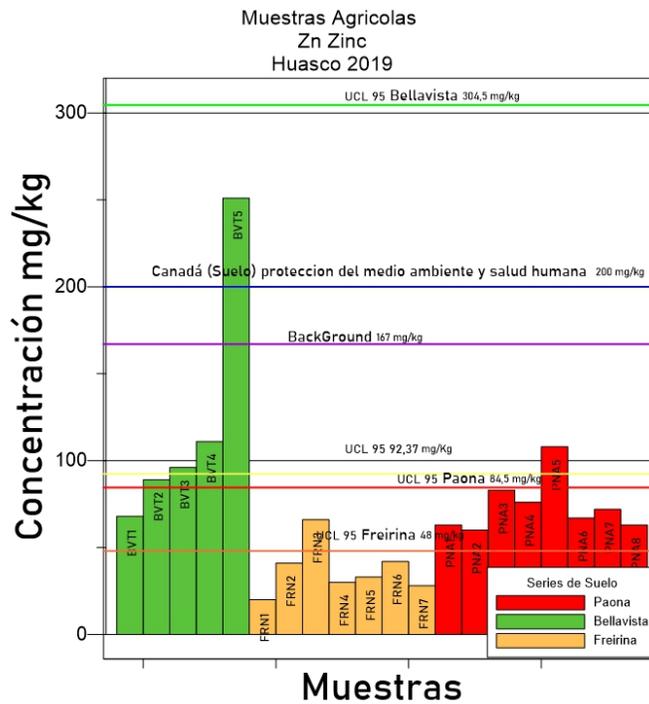
Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 60. Gráfico de comparación de concentraciones de Pb en muestras de suelo agrícola



Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Figura 61. Gráfico de comparación de concentraciones de Zn en muestras de suelo agrícola



Fuente: Elaboración propia en base a Programa Grapher

Respecto a la presencia de contaminantes considerando el 95% UCL, se puede observar que:

- Ningun parámetro es superado, si se considera el 95% UCL general.
- Si se considera el 95% UCL por serie, se observa que para la serie Bellavista se supera:
  - o El **bario (Ba)** que corresponde a 85,5 [mg/kg], comparado con el valor de referencia de Brasil, 75 [mg/kg]. Si se escoge el siguiente valor de referencia que corresponde a Canadá (750 [mg/kg]), no se supera ninguna muestra.
  - o El **cobre (Cu)** que corresponde a 93 [mg/kg], comparado con el valor de referencia de Canadá, 63 [mg/kg]. Si se escoge el siguiente valor de referencia que corresponde a EMEG niño (286 [mg/kg]), no se supera ninguna muestra.
  - o El **plomo (Pb)** que corresponde a 27,7 [mg/kg], comparado con el valor de referencia de Brasil, 17 [mg/kg]. Si se escoge el siguiente valor de referencia que corresponde a Canadá (70 [mg/kg]), no se supera ninguna muestra.

Si se analiza la situación con cada muestra, aun que este análisis no es relevante ni concluyente, la situación sería la siguiente:

- **Arsénico (As):** Solo la muestra BVT-3 cuyo valor es 22,2 [mg/kg], supera levemente el valor de referencia escogido de México, que corresponde a 22 [mg/kg]
- **Bario (Ba):** Solo la muestra BVT-3 cuyo valor es 97 [mg/kg], supera el valor de referencia escogido de Brasil, que corresponde a 75 [mg/kg].
- **Cobre (Cu):** Solo la muestra BVT-3 cuyo valor es 121,3 [mg/kg], supera el valor de referencia escogido de Canadá, que corresponde a 63 [mg/kg].
- **Plomo (Pb):** Considerando el valor de referencia de Brasil (17 [mg/kg]), tres muestras la superan, la BVT-3 (26 [mg/kg]), la BVT-5 se encuentra superada (30 [mg/kg]) y PNA 7 (20 [mg/kg]).
- **Cinc (Zn):** Considerando el valor de referencia de Canadá que corresponde a 200 [mg/kg], solo la muestra BVT-5 lo supera (251 [mg/kg]).
- Como el **hierro (Fe)** tiene un valor background de 32.155 [mg/kg], no habría valor de referencia para comparar, ya que el valor correspondiente a USA, es más bajo que éste (5.500 [mg/kg]).

### 9.4.1.3.1 Resultados y discusión de los análisis de fertilidad de suelos

A continuación, se presentan los resultados y discusión de los análisis realizados a un total de 5 muestras de suelo correspondientes a tres series de suelo diferentes (Bellavista, Paona y Freirina) recolectadas en una zona de uso de suelo agrícola, con el objetivo de determinar sus características con relación a la fertilidad, salinidad, cationes y aniones solubles, todos parámetros para medir la calidad de los suelos para uso agrícola, los cuales se indican en las siguientes Tablas. Todos estos análisis fueron realizados por el Laboratorio AGROLAB, el cual se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de suelo y foliar.

**Tabla 73. Resultados de análisis de fertilidad y textura en muestras de suelo de uso agrícola.**

Variable o característica		ID Muestras				
		BVT-2	BVT-3	FRN-5	PNA-5	FRN-6
Fertilidad	Profundidad muestreo (cm)	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
	pH (unidades de pH)	8,4	8,1	7,8	8,5	8,5
	C. Eléctrica (dS/m)	15,8	3,6	2,3	2,1	31,0
	Materia orgánica (%)	3,5	4,0	3,4	2,5	1,4
	Nitrógeno disponible (N) [mg/kg]	65	72	40	30	20
	Fósforo disponible (P) [mg/kg]	11	21	89	27	7
	Potasio disponible (K) [mg/kg]	317	324	97	72	170
Textura	Arena (2,00 - 0,05 mm) %	24	13	70	44	53
	Limo (0,05 - 0,002 mm) %	60	65	18	34	36
	Arcilla (< 0,002 mm) %	16	22	12	22	11
	Clase Textural	Fco. Limosa	Fco. Limosa	Fco. Arenosa	Franca	Fco. Arenosa
	% Saturación (retención agua en pasta)	49	52	46	42	30

Fuente: Elaboración propia en base a Informe de Resultados- Nº Orden 154.531 de AGROLAB

A partir de los resultados indicados en la Tabla 73, se observa lo siguiente:

**pH:** todas las muestras presentan valores que fluctúan entre los 7,8 y 8,5, por lo tanto, son suelos levemente alcalinos o alcalinos, pero cercanos a la neutralidad, por lo tanto, se puede indicar que son suelos relativamente aptos para el cultivo, pero en aquellos donde el pH es mayor a 8, se debe tener cuidado y controlar este parámetro, ya que suelos altamente alcalinos también generan problemas a los cultivos.

**CE:** este parámetro varió bastante entre las diferentes muestras, se puede apreciar que las muestras BVT-2 y FRN-6 son las que presentan los mayores valores de CE, 15,8 y 31 dS/m, lo cual las clasifica como muestras fuertemente salinas, lo cual significa que tienen una alta concentración de sales y sólo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente. Por su parte, las tres muestras restantes presentan valores de CE que las clasifican como ligera o moderadamente salinas, por lo cual, son suelos con mejores características para ser cultivados.

**MO:** el contenido de MO en todas las muestras suelos analizados no es óptima, porque en ninguna de ellas se supera el 5% de MO, el cual es el contenido adecuado para los suelos de uso agrícola. Pero del total de muestras, la que contiene una mayor cantidad de MO es BVT-3 con un valor de 4%, por lo que es la muestra de suelo que tiene la mejor característica en relación a este parámetro.

**Concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK) disponible en el suelo:** a partir de los resultados y las características señaladas, se puede observar que las muestras BVT-2 y BVT-3 son aquellas que presentan concentraciones adecuadas y/o medias para los tres nutrientes, por lo tanto, son las muestras de suelo que tienen las mejores características en relación al contenido disponible de estos nutrientes, además son muestras procedentes desde el mismo sector y por eso presentan aspectos similares. Por su parte, las muestras PNA-5 y FRN-6 tienen menores contenidos de NPK.

**Textura:** del total de muestras, se puede observar que BVT-2 y BVT-2 son las que presentan una mayor cantidad de limo 60% y 65% respectivamente, por lo tanto, tienen un tamaño de partícula mayoritario que se encuentra entre la arena y la arcilla, lo cual permitiría que estas tuvieran mejores características que el resto de las muestras para la fertilidad de cultivos. En cambio, las muestras FRN-5, PNA-5 y FRN-6 presentan una mayor cantidad de partículas tamaño arena, por lo tanto, son suelos que podrían tener más posibilidades de no retener bien el agua, los nutrientes y perderlos por procesos de lixiviación, ya que un mayor tamaño de partícula produce este comportamiento.

A partir de lo indicado anteriormente, se puede señalar que, de las 5 muestras analizadas, las que tienen las mejores características de fertilidad son BVT-2 y BVT-3, ya que presentan cualidades adecuadas en cada uno de los parámetros anteriormente señalados, a excepción de la CE para la muestra BVT-2 que es alta, pero todos los demás son relativamente adecuados dentro de los rangos analizados anteriormente. Sin embargo, las condiciones óptimas de fertilidad de un suelo para el cultivo, depende de este mismo, ya

que se pueden mejorar las características de un suelo para plantar en él especies que así lo requieran, a través de planes de manejo de suelos (agregando fertilizantes y micronutrientes), o plantar cultivos que con las condiciones de origen del suelo pueda crecer de forma óptima, corrigiendo levemente las características del suelo.

A continuación, se presentan los resultados asociados al análisis de salinidad, cationes y aniones solubles en muestras.

**Tabla 74. Resultados Análisis de Salinidad, cationes y aniones solubles en muestras de suelo de uso agrícola.**

	Variable o característica	ID Muestra					Rango para interpretación*	
		BVT-2	BVT-3	FRN-5	PNA-5	FRN-6	Sin problemas	Problemas Severos
Salinidad	pH (en extracto)	8,1	8	7,7	8	7,7	6,5-8,0	> 8,5
	RAS (Relación Adsorción de Sodio)	15	2,5	3,5	3,9	34	<10,0	>15,0
Cationes y Aniones Solubles	Calcio (mg/L)	810	408	202	156	800	N/A	N/A
	Magnesio (mg/L)	256	74	50	36	594	N/A	N/A
	Potasio (mg/L)	78	38	11	6	66	N/A	N/A
	Sodio (mg/L)	1881	207	216	209	5198	<115	>700
	Cloruro (mg/L)	4431	195	241	195	9855	<350	>1000
	Sulfato (mg/L)	1008	912	480	442	1392	N/A	N/A
	Bicarbonato (mg/L)	305	281	336	349	207	<240	>500
	Boro Soluble (mg/L)	2,6	1	2,3	1,4	3,5	< 1,0	> 3,0

Nota: \*Rango de interpretación indicado por el laboratorio Agrolab.

Fuente: Elaboración propia en base a Informe de Resultados- N° Orden 154.531 de AGROLAB.

Es importante señalar, que todos los resultados indicados en la **¡Error! No se encuentra el rigen de la referencia.** 74 corresponden a las mediciones realizadas al extracto o solución suelo generada de la medición de los cationes y aniones solubles para cada una de las muestras. Por lo tanto, a partir de estos se observa lo siguiente:

**El pH:** para todas las muestras se puede observar que el pH es relativamente similar y se ajusta al rango considerado como sin problemas, por lo tanto, el pH de la solución suelo es adecuado y no generaría problemas sobre los cultivos.

**CE:** los valores de este parametro indican que de las cinco (5) muestras hay dos (2) que superan los rangos de CE apropiados (según lo indicado por el laboratorio) correspondientes a BVT-2 y FRN-6 , ya que los valores para estas muestras son altos 15,8 y

31 dS/m respectivamente y el valor a partir del cual genera problemas es <4 dS/m). Por lo tanto, las muestras BVT-2 y FRN-6 son aquellas que tienen una mayor cantidad de iones (cationes y aniones) solubles, siendo estas aquellas con una mayor salinidad, lo cual no sería apropiado para los cultivos, por lo tanto, son suelos que deberían tener un control en relación a este parámetro si es que en ellos se realiza cultivo de especies.

**RAS:** este parámetro es usado para caracterizar la condición sódica de la solución suelo, es una medida de la relación entre la concentración de sodio y de magnesio y calcio. Es una medición importante porque un alto contenido de sodio afecta la permeabilidad del suelo y causa problemas de infiltración, ya que el exceso de iones sodio desplaza el calcio y magnesio, provocando la dispersión y desagregación del suelo, provocando que este se vuelva duro y compacto en condiciones secas, reduciendo la infiltración de agua y aire a través de los poros.

A partir de los resultados de RAS para las cinco (5) muestras analizadas, se puede observar que dos (2) de ellas son las que presentan los valores más altos para este parámetros, lo que significa que su contenido de sodio es alto en comparación al contenido de magnesio y calcio. Además, estas dos muestras son las mismas que presentan los valores más altos de CE (BVT-2 y FRN-6), por lo tanto, estas muestras además de ser altamente salinas, tienen un alto contenido en sodio, por lo cual, son muestras que presentan dificultades para los cultivos por lo tanto se puede señalar que sus características de fertilidad no son las mejores y deben ser controladas si en ellas se cultiva.

**Concentración de cationes solubles:** los cationes evaluados en este contexto correspondientes al Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ) y Sodio ( $\text{Na}^+$ ) son elementos considerados beneficiosos para los cultivos, a excepción del sodio, por lo tanto, los tres primeros no son comparados con respecto a ningún otro valor de referencia. Sobre los valores de estos cationes solubles, se puede observar que las muestras BVT-2 y FRN-6 son las que presentan los valores más altos para todos ellos, y en caso del sodio, es bastante alto con valores de 1.881 mg/L y 5.198 mg/L respectivamente (lo cual se complementa con el valor de RAS para estas muestras), superando el valor al cual pueden presentar problemas con los cultivos correspondiente a 700 mg/L. El resto de las muestras, presentan valores para todos estos cationes por debajo de los 700 mg/L, sin embargo, son valores por sobre los 115 mg/L, que es el valor máximo al cual no se registrarían problemas para las plantas, por lo cual, se debe tener precaución con estos suelos y monitorear el contenido de sodio en ellos.

**Concentración de aniones solubles:** los aniones evaluados consideran al Cloruro (Cl<sup>-</sup>); Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>); Boro y Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), de los cuales los tres primeros en ciertas concentraciones podrían generar problemas severos en los cultivos. Por su parte, el sulfato es considerado un nutriente de tipo secundario para las plantas. De todas las muestras analizadas, se puede observar que BVT-2 y FRN-6 son las que presentan los valores más altos de estos aniones, a excepción del bicarbonato para la muestra FRN-6. En el caso del cloruro, estas dos muestras presentan valores bastante altos, ya que superan los 1000 mg/L, valor desde el cual los cultivos podrían presentar problemas severos. El resto de los aniones para todas las muestras, presentan valores que según la referencia indicada por el laboratorio no generarían problemas en las plantas.

De acuerdo a los resultados indicados anteriormente, desde un punto de vista donde se considera la salinidad, y la concentración de cationes y aniones solubles se puede señalar que, de las 5 muestras analizadas, las que tienen las mejores características son las muestras BVT-3, FRN-5 y PNA-5, ya que ellas no presentan altas y no adecuadas concentraciones de sodio, cloruros, bicarbonato y boro como las muestras BVT-2 y FRN-6.

Al relacionar lo indicado en el párrafo anterior y la información sobre la fertilidad, se puede señalar que, de las 5 muestras de suelo analizadas, BVT-3 sería aquella que tiene las mejores condiciones a nivel de fertilidad, salinidad, cationes y aniones solubles, por lo tanto, el suelo con las mejores cualidades agrícolas.

#### 9.4.1.3.2 Resultados y discusión de biodisponibilidad y bioaccesibilidad

Para el análisis de biodisponibilidad se consideró como criterio seleccionar una muestra de cada serie. Respecto al grupo de metales a analizar, se considera seleccionar el grupo de metales asociado a enriquecimiento antrópico y relevantes en términos de toxicidad para plantas, siendo éstos: Cd, Zn, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni y Pb. A este grupo se ha considerado adicionar el As, pues en los suelos de Chile este parámetro suele ser relevante.

Los resultados de contenido de metales de las 5 muestras analizadas con mayor detalle se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 75. Resultados contenido de metales muestras de área de uso agrícola

Resultados metales (mg/Kg)																
Parámetro	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	B	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sc	Sn	Sr	Ga
LD	5,5	2,5	3,5	3	3	5	2	2,5	5	3	3,5	2,5	5	24	22	5
BVT2	9942	<2.5	7.6	68	<3	<5	<2	<2.5	89	4	47.4	14.0	<5	<24	83	<5

<b>BVT3</b>	11735	<2.5	22.2	97	<3	<5	<2	<2.5	96	6	121.3	15.9	<5	<24	108	<5
<b>PNA 5</b>	8814	<2.5	4.4	56	<3	<5	<2	<2.5	108	3	53.7	13.0	<5	<24	83	<5
<b>FRN 5</b>	5333	<2.5	<3.5	18	<3	<5	<2	<2.5	33	<3	7.8	8.9	<5	<24	139	<5
<b>FRN 6</b>	7391	<2.5	<3.5	31	<3	<5	<2	<2.5	42	<3	12.5	8.1	<5	<24	45	<5

Resultados metales (mg/Kg)																
Parámetro	Ge	Fe	La	Li	Mn	Hg	Mo	Ni	Ag	Pb	Se	Tl	Te	Th	U	V
<b>LD</b>	5	5	5	2,5	2	0,01	2	1,5	5	2	4,5	2	5	5	10	2,5
<b>BVT2</b>	<5	22372	<5	20.8	561	0.15	<2	10.1	<5	9	<4.5	<2	<5	43	<10	40.7
<b>BVT3</b>	<5	23465	<5	28.4	869	0.11	<2	13.9	<5	26	<4.5	<2	<5	43	<10	36.5
<b>PNA 5</b>	<5	22887	<5	16.1	539	0.01	<2	8.8	<5	10	<4.5	<2	<5	40	<10	39.1
<b>FRN 5</b>	<5	13370	<5	5.4	258	<0.01	<2	<1.5	<5	<2	<4.5	<2	<5	25	<10	26.1
<b>FRN 6</b>	<5	16549	<5	15.4	369	0.03	<2	5.1	<5	<2	<4.5	<2	<5	33	<10	31.6

Fuente: Elaboración propia en base a resultados entregados por Laboratorio SGS

Según los resultados de contenido de metales de la tabla anterior, es posible notar que en ninguna de las muestras se detectó la presencia de Cd, por lo que este parámetro no requiere ser analizado en cuanto a su biodisponibilidad. Respecto a las muestras que se podrían seleccionar, de la serie Bellavista, la muestra BVT-3 tiene mayores contenidos de metales que la BVT-2, y de la serie Freirina, la muestra FRN 6 tiene mayores contenidos que la FNR 5. En el caso de la serie Paona, solo hay una muestra analizada en mayor detalle. En resumen se considera analizar biodisponibilidad de los metales As, Zn, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni y Pb en las muestras BVT-3, FNR-6 y PNA-5.

Finalmente, se consideraron tres muestras, cuyo criterio de selección fue elegir una de cada serie de suelo de las 5 muestras analizadas anteriormente para fertilidad.

En relación al grupo de elementos químicos que se evaluaron se considera en principio seleccionar el grupo de metales que ha sido medido en los estudios previos antes citados, pues se asocian a enriquecimiento antrópico y son relevantes en términos de toxicidad para plantas, siendo estos: el Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni) y Plomo (Pb). A este grupo se ha considerado adicionar también al Arsénico (As), pues en los suelos de Chile este parámetro suele ser relevante.

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los resultados de biodisponibilidad para las tres muestras analizadas, como también del contenido (concentración) de metales de estas mismas muestras.

**Tabla 76. Resultados determinación de la biodisponibilidad y contenido de metales en muestras de suelo de uso agrícola.**

Variable	Biodisponibilidad			Concentración de metales en suelos		
	ID Muestras			ID Muestras		
	BVT-3	FRN-5	PNA-5	BVT-3	FRN-5	PNA-5
Arsénico (mg/kg)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	22,2	<3,5	4,4
Cadmio (mg/kg)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<2,5	<2,5	<2,5
Cromo (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	15,9	8,9	13
Cobre (mg/kg)	33	3	18	121,3	7,8	53,7
Hierro (mg/kg)	41	20	22	23465	13370	22887
Manganeso (mg/kg)	23	28	27	869	258	539
Mercurio (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,11	<0,01	0,01
Molibdeno (mg/kg)	0,02	0,01	0,01	<2	<2	<2
Níquel (mg/kg)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	13,9	<1,5	8,8
Plomo (mg/kg)	5	1	4	26	<2	10
Selenio (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<4,5	<4,5	<4,5
Zinc (mg/kg)	2	6	7	96	33	108

Fuente: Elaboración propia en base a Informe de Resultados- Nº Orden 155.290 de AGROLAB y resultados de análisis laboratorio SGS.

A partir de los datos indicados en la Tabla 76, se puede observar que los resultados de la determinación de la biodisponibilidad indican que los elementos químicos que tienen posibilidades de quedar disponibles y ser adsorbidos desde el suelo por las plantas y por las tres muestras analizadas son el cobre, el hierro, el manganeso, el plomo y zinc; para el resto de los elementos químicos como el arsénico, cadmio, cromo, mercurio, molibdeno, níquel y selenio, no se puede determinar debido a que las concentraciones indicadas son muy bajas o se encuentran por debajo de los límites de detección de la técnica de análisis.

De las tres muestras de suelo analizadas, se puede observar que BVT-3 es aquella donde los metales tienen una mayor posibilidad de quedar biodisponibles para las plantas, ya que los valores de concentración de éstos luego del proceso de biodisponibilidad son los más altos.

Tal como se señaló en los párrafos anteriores, debido a que son los metales que se encuentran en mayor concentración en las muestras de suelo analizadas, sobre todo en el caso de BVT-3, seguida por PNA-5 y luego por FRN-5. Sin embargo, a partir de los resultados, es el cobre el que tiene una mayor capacidad de ser captado por las plantas, ya que es mayor la proporción de este metal que queda biodisponible en comparación con los otros dos elementos químicos, como también el plomo para la muestra PNA-5 tal

como se puede observar en la siguiente Tabla 77, en la cual se determinó el porcentaje que queda biodisponible para las plantas, del contenido total del elemento químico.

**Tabla 77. Cálculos del porcentaje de elemento químico biodisponible a partir del contenido total en las muestras de suelo de uso agrícola.**

Variable	ID Muestras		
	BVT-3	FRN-5	PNA-5
Cobre (%)	27,2	38,5	33,5
Hierro (%)	0,175	0,150	0,096
Manganeso (%)	2,65	10,9	5,00
Plomo (%)	19,23	*	40
Zinc (%)	2,08	18,18	6,48

\*No se puede determinar, debido a que el contenido total es <2 mg/kg, es decir, bajo el límite de detección.

Fuente: Elaboración propia en base a Informe de Resultados- Nº Orden 155.290 de AGROLAB y resultados de análisis laboratorio SGS.

Finalmente, se puede señalar que a partir de estos resultados, que los elementos químicos que tienen una mayor capacidad de estar biodisponibles serían el cobre, plomo y zinc.

De acuerdo a lo anterior, y considerando que las concentraciones de estos metales son bajas y no superan a los valores de comparación internacional escogidos, es que no se recomienda realizar otro análisis como el proceso de absorción o un análisis de bioaccesibilidad. Lo anterior, justificado además en que en Chile, en la actualidad no hay laboratorios certificados que hagan este tipo de análisis.

#### 9.4.2 PROPONER VALORES DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES REFERENCIALES

Para definir valores de concentración de contaminantes, es necesario tener en consideración, por una parte los contenidos base o background, y por otra el nivel de riesgo asociado a la presencia de contaminantes en el suelo, para lo cual a la vez, se debe tener presente los usos del suelo de la comuna de Huasco. Es de suma relevancia considerar los contenidos naturales o de zonas sin intervención antrópica presentes en suelos de la provincia de Huasco para definir los valores de concentración de contaminantes referenciales, puesto que es posible que los contenidos naturales presentes sean elevados respecto de los valores presentes en otras partes del mundo, y por tanto, que los niveles permitidos en dichos lugares o países.

La recomendación general para la determinación de niveles background, en zonas potencialmente contaminadas, consiste en el estudio de sitios que presenten las mismas características geoquímicas a las de la zona de interés, y que no presenten alteración antrópica. Para esto es necesario conocer las características geológicas y agrológicas de la zona. La USEPA (United States Environmental Protection Agency), establece que “las localidades de las muestras background, deben ser áreas que no hayan recibido contaminación, pero deben tener las mismas características básicas que el sitio en cuestión” (PGS, 2015).

Uno de los requisitos fundamentales para la definición de las áreas de muestreo “background” o de referencia, es que las características geológicas de estos sitios sean equivalentes a las características del área en estudio (MMA, 2013) y esto generalmente ocurre a escala local. Para efectos de un estudio sobre contaminación local de suelos puede carecer de validez muestrear la misma unidad geológica que ha sido definida a escala regional si esta muestra se encuentra muy alejada del sitio de estudio, porque la variabilidad litológica podría ser muy alta dada la naturaleza de la génesis de los depósitos sedimentarios sobre los cuales se forma el suelo.

Según MMA (2013), el valor background se calcula sobre la variabilidad propia de los datos obtenidos para cada elemento. Este se estima como si fuera el límite superior del intervalo de confianza del 95%, de la concentración media del elemento de los sitios no contaminados. Esto asegura que las diferencias debidas a la variabilidad natural estén incorporadas dentro de la estimación de los niveles background. Esta metodología sirve para determinar potencial contaminación, mediante la comparación del promedio entre un sitio sin alteración antrópica y otro potencialmente contaminado.

De acuerdo a lo anterior, lo primero que se realizó fue determinar un background para la Provincia de Huasco. Para lograrlo, en el marco de este proyecto, se tomaron 18 puntos considerados background, más 36 muestras del estudio CENMA 2017, y las del Estudio de Impacto ambiental El Morro, tal como se explicó en el apartado 8.3.2 de este estudio.

A modo de resumen, se presentan las concentraciones consideradas:

Tabla 78. Muestras del EIA El Morro consideradas como background

Resultados [mg/kg]												
MUESTRAS	Al	As	Ba	B	Zn	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb
M9	826	17,5		26	178	0,25	182	7,5	15920	1358	0,15	36,8
M13	869	12,5		24	33	0,01	15	7,5	12133	523	0,05	7,3
M27	1197	15,0		15	41	0,01	25	5,0	11945	520	0,13	7,5
M28	527	20,0		19	31	0,01	22	7,5	14760	478	0,18	7,0
M10	429	0,05		15	43	0,01	15	12,5	11445	645	0,05	9,0
M11	530	0,05		20	46	0,01	20	10,0	13370	683	0,05	10,5
Media (promedio)	730	11		20	62	0,1	47	8	13262	701	0,10	13
95% UCL	967,60	18,03		23,56	163,70	0,10	164,80	10,46	14717	1197	0,15	33,88

Tabla 79. Muestras del estudio CENMA 2017 consideradas como background

N°	Unidad Geológica	Concentración (mg/kg)															
		Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn	Ag	V	Ba	Co	B	Fe
1	Qe	1,02	28,31	14,95	1,66	13,01	9,29	4,38	3,066	<2,77	194,95	<2,52	33,49	10,96	5,05	<0,74	15,626
2		1,02	20,47	12,37	1,66	10,78	7,49	2,09	2,571	<2,77	164,66	<2,52	28,7	9,87	4,28	<0,74	12,798
3		1,02	22,28	20,39	3,74	10,64	6,49	2,09	2,148	<2,77	211,75	<2,52	53,52	10,63	5,32	<0,74	18,330
4		1,02	36,55	47,48	3,44	11,55	13,2	2,09	3,364	<2,77	685,84	<2,52	202,59	17,16	15,01	<0,74	55,125
5		1,02	29,68	29,65	3,66	11,19	7,96	2,09	3,010	<2,77	382,25	<2,52	104,17	13,9	8,84	<0,74	32,796
6		1,02	24,51	20,09	4,44	11,37	8,12	2,09	2,839	<2,77	288,44	<2,52	55,51	14,8	6,76	<0,74	19,199
7		1,02	29,24	32,78	3,92	10,89	10,1	2,09	2,810	<2,77	397,24	<2,52	117,87	12,57	9,44	<0,74	35,619
8		2,68	51,41	50,19	5,61	33,65	19,42	9,88	7,571	<2,77	830,91	<2,52	145,55	36,25	17,04	<0,74	49,741
9		1,02	42,05	40,07	4,59	29,73	19,63	4,3	9,179	<2,77	555,98	<2,52	117,4	27,55	17,85	<0,74	41,420
10		1,02	40,98	43,83	5,00	24,93	17,13	2,09	6,133	<2,77	520,22	<2,52	128,74	20,66	15,16	<0,74	39,812
11		1,02	40,28	34,07	5,33	38,63	12,31	10,82	6,263	<2,77	394,56	<2,52	58,09	36	12,34	<0,74	19,733
12		2,25	41,49	63,34	4,43	28,87	21,45	5,92	6,316	<2,77	636,09	<2,52	218,01	15,79	17,67	<0,74	63,776
13	TrJ1m	1,02	33,88	17,52	13,3	93,84	14,68	2,09	10,085	<2,77	1406,34	<2,52	48,92	32,82	10,08	<0,74	30,500
14		1,02	28,54	21,64	16,18	139,75	14,16	2,09	10,754	<2,77	910,68	<2,52	67,3	38,89	14,06	<0,74	33,268
15		1,02	24,27	12,95	41,79	150,87	16,83	2,09	8,443	<2,77	1346,35	<2,52	37,68	25,35	68,76	<0,74	26,748
16		1,02	27,49	22,06	51,76	160,04	22,67	2,09	8,257	<2,77	1461,36	<2,52	78,6	37,55	21,4	<0,74	45,212
17		1,02	45,33	51,35	12,33	113,98	32,97	6,68	8,972	<2,77	1348,78	<2,52	83,49	62,52	21,4	<0,74	42,147
18		1,02	44,99	25,14	29,12	192,12	21,27	5,22	9,475	<2,77	1333,86	<2,52	80,53	65,83	28,18	<0,74	37,995
19		1,02	61,34	31,08	18,3	97,46	18,1	5,38	7,513	<2,77	1155	<2,52	90,37	59,59	18,73	<0,74	39,886
20		2,37	66,03	30,72	6,26	76,25	18,23	2,09	9,216	<2,77	1800,47	<2,52	133,08	85,92	28,42	<0,74	57,880
21		1,02	53,92	34,51	4,28	65,42	22,14	2,09	10,492	<2,77	1484,76	<2,52	102,16	57,45	23,8	<0,74	51,013
22		2,51	61,52	23,91	6,01	78,72	21,87	2,09	9,870	<2,77	1197,22	<2,52	97,56	51,7	28,3	<0,74	48,454
23		2,56	65,35	32,43	6,7	107,92	21,06	2,09	9,334	<2,77	1573,5	<2,52	140,04	53,93	28,36	<0,74	52,646
24		1,02	72,65	32,42	18,19	65,2	21,99	4,89	7,240	<2,77	1289,3	<2,52	90,71	62,34	21,79	<0,74	39,684
25		2,3	239,22	18,43	42,03	56,63	25,48	32,99	12,227	<2,77	1899,98	<2,52	65,8	130,05	28,39	<0,74	40,028
26		2,35	143,95	23,62	30,8	36,85	26,12	20,91	9,947	<2,77	1741,95	<2,52	84,4	99,86	25,65	<0,74	40,632
27	2,19	134,97	23,13	38,77	70,7	23,21	16,94	10,915	<2,77	765,45	<2,52	91,38	72,32	31,86	<0,74	39,514	
28	2,53	150,78	22,52	38,26	67,85	21,37	25,11	12,137	<2,77	1214,72	<2,52	106,67	112,79	28,97	<0,74	48,234	
29	1,02	182,99	18,56	25,17	28,41	22,3	15,38	8,266	<2,77	1546,27	<2,52	46,9	122,89	19,86	<0,74	28,418	
30	Qf	1,02	167,33	25,73	32,46	52,4	20,61	21,69	8,074	<2,77	1358,49	<2,52	85,8	90,47	20,43	<0,74	39,861
31		2,36	119,53	25,09	14,24	46,66	20,56	22,02	10,657	<2,77	1148,82	<2,52	95,26	123,69	20,56	<0,74	41,075
32		1,02	154,03	18,27	26,84	59,46	19,2	21,59	10,565	<2,77	1366,72	<2,52	61,72	104,15	21,72	<0,74	35,305
33		1,02	127,06	22,84	31,3	24,14	24,61	14,96	6,511	<2,77	2281,12	<2,52	50,52	97,18	18,55	<0,74	29,899
34		1,02	150,27	23,15	57,84	33,56	25,51	18,04	9,073	<2,77	1539,07	<2,52	57,81	115,33	23,12	<0,74	32,313
35		1,02	107,1	34,49	28,89	37,53	34,37	14,32	8,881	<2,77	889,14	<2,52	72,11	78,65	19,36	<0,74	35,433
36		1,02	166,43	27,9	33,95	42,69	31,32	20,17	9,945	<2,77	2030,53	<2,52	51,71	130,41	21,53	<0,74	30,782
95% UCL	2	103	32	30	76	21	16	8,656	2,77	1252	2,52	100	71	24	0,74	40,857	

Nota: Los datos en color azul corresponden a los valor LD (Límite de Detección). Se asumen los datos &lt;LD como =LD

Fuente: Elaboración propia en base a estudio CENMA 2017

A continuación, en la Tabla 80 se presenta un resumen de los valores background en base a 95% UCL, realizado en base a los 3 estudios antes mencionados.

Adicionalmente, se puede apreciar que en la fila de color amarillo, hay una propuesta de valores base o background para la Provincia de Huasco, los cuales se definieron en base al 95% UCL. En general se escogió el menor valor entre ellos, salvo en el caso del aluminio del Proyecto del Morro que su valor no representaba la situación normal de la comuna ni de la provincia, ya que este metal se encuentra en forma abundante en la naturaleza y en el territorio.

Propuesta Técnica

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

Tabla 80. Determinación de valores background para la Provincia de Huasco

MUESTRAS	Ag	Al	As	Ba	B	Ca	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Th	V
BKG TTR1	5	5.017	10	23	59	14.971	3	29	3	16	9	35	403	12.852	10	4.266	298	0,0	5	2	625	57	31	25
BKG TTR2	5	17.401	10	57	20	10.069	3	70	12	98	16	29	149	45.099	20	16.820	641	0,2	12	10	615	1.577	61	55
BKG CHA3	5	12.994	18	78	29	18.810	3	98	10	49	24	66	933	25.913	22	9.895	614	0,1	17	18	2.559	661	48	42
BKG CQN4	5	9.086	4	61	29	11.254	3	52	7	24	29	38	817	20.001	12	7.730	285	0,0	23	6	1.722	558	39	36
BKG CHA5	5	8.831	7	49	18	30.626	3	60	9	47	15	36	404	26.711	10	7.926	519	0,0	9	11	531	1.100	48	69
BKG FRN 6	5	7.684	4	21	2	124	3	43	11	12	9	26	2.998	14.735	13	228	374	0,2	2	2	170	126	29	11
BKG HSC7	5	10.209	7	43	22	5.497	3	48	6	27	15	24	87	19.646	17	6.591	509	0,0	10	10	887	962	43	30
BKG HSC8	5	12.985	22	103	30	22.651	3	186	11	150	17	79	2.474	25.532	22	8.893	835	0,0	17	38	810	788	45	33
BKG FRN9	5	6.871	4	29	2	7.731	3	34	8	28	4	22	25.651	88.107	20	3.644	398	0,0	12	7	646	6.260	212	429
BKG PNA10	5	10.782	29	45	40	7.430	3	34	7	23	26	22	6.816	28.352	48	9.294	441	0,0	17	2	2.426	1.290	55	43
BKG LCM11	5	9.657	9	33	23	8.682	3	52	6	26	17	31	6.908	21.485	19	8.846	475	0,0	11	9	3.540	781	44	37
BKG BEZ12	5	6.665	7	32	50	40.202	3	49	3	24	11	96	7.136	16.510	14	7.082	229	0,0	7	5	2.557	5.551	33	28
BKG VTN13	5	8.453	41	54	11	11.713	3	63	12	36	19	35	6.841	31.798	18	7.342	490	0,0	13	7	2.390	247	54	62
BKG LCM14	5	5.937	4	45	8	29.485	3	42	8	47	15	33	10.007	14.933	14	9.063	437	0,0	10	8	9.423	7.136	43	10
BKG PNA15	5	5.947	11	35	68	29.150	3	87	3	44	10	76	10.270	15.753	22	9.082	384	0,0	7	11	9.521	7.073	29	25
BKG HSC16	5	14.773	18	98	19	20.443	3	303	12	89	14	79	7.358	23.820	35	7.420	1.237	0,0	19	38	1.568	194	46	27
BKG CHA17	5	5.695	7	26	24	11.989	3	44	3	14	12	30	6.611	14.285	16	4.973	311	0,0	10	4	936	405	32	19
BKG CQN18	5	10.196	5	57	17	10.946	3	70	6	31	15	48	7.525	19.666	18	7.436	501	0,0	11	13	4.362	20	41	28
Media (promedio)	5	9.573	12	51	24	16.937	3	87	8	46	15	45	5.905	25.947	19	7.573	536	0,0	12	12	2.380	1.749	52	56
Desv. Estándar	0	3.364	10	24	18	10.400	0	82	3	35	6	23	5.796	16.505	9	3.172	280	0,0	5	11	2.660	2.495	39	90
95% UCL IDEAMBIENTE	5	10.874	17	61	31	20.957	3	167	9	62	17	54	6.120	32.155	23	10.665	651	0,1	14	18	3.667	3.344	67	75
95% UCL CENMA		8.656	30	71	-	-	2	103	24	76	32	-	-	40.857	-	-	1.252	-	21	16	-	-	-	100
95% UCL EIA EL MORRO		968	18	-	24	-	0	164		165	10	-	-	14.717	-	-	1.197	0,2		34	-	-	-	-
BKG ESCOGIDO	5	8.656	17	61	24	20.957	2	167	9	62	10,5	54	6.120	32.155	23	10.665	651	0,1	14	16	3.667	3.344	67	75

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos estos valores, se considera la revisión de valores guías, de comparación y/o normas de referencia nacionales e internacionales de calidad de suelo, los que tal como se comentó en el ítem anterior, son definidos en base a una serie de consideraciones, como nivel de riesgo aceptado, usos de suelo, características geológicas y climatológicas del país o área para el que son válidos.

En relación al uso de suelo incluidos en las normativas, en general son de tipo residencial, industrial y comercial, y en menor medida, se consideran otros usos, como agrícolas, parques y jardines, entre otros. Estos usos tienen asociados diferentes vías de exposición y frecuencias de exposición, por lo que las concentraciones de contaminantes que se permiten son distintas.

#### **9.4.2.1 Estimación de Valores de Referencia**

En el marco de este estudio, se entregarán dos propuestas de Valores de Referencia, uno considerando el valor más bajo de los valores internacionales, y otro considerando valores de alerta y background. A continuación, se presenta una descripción y resultados de cada una de las opciones:

##### **9.4.2.1.1 Opción 1. Estimación de Valor de Referencia en base a Background y Valores de Referencia Internacional**

Como ya se tiene definido el valor background (Tabla 80), se debe definir el valor de referencia internacional o valores EMEG o RMEG que corresponderá al valor de referencia. Para la selección de este valor, se debe tener en cuenta que no debe ser más bajo o más restrictivo que el contenido natural del contaminante en los suelos de la zona. Por lo mismo el valor de referencia que se ha seleccionado para cada uno de los parámetros, es la concentración inferior permitida en las referencias consultadas, y que además sea superior al nivel background. Para el caso que no existan dichos valores, se recomienda utilizar los background, aunque se debe tener en cuenta que esa situación correspondería a una situación conservadora, debido a que es el valor más bajo de todos los valores que se presentan.

De acuerdo a lo anterior, para el suelo superficial de uso urbano, considerando los valores de referencia de Tabla 70 de este informe, se proponen los siguientes valores de referencia:

## Informe Final

Diagnóstico y muestreo de suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama.

---

## Propuesta Técnica

Diagnóstico y Muestreo de Suelos para la comuna de Huasco, región de Atacama

**Tabla 81. Propuesta Valores de Referencia para uso de suelos urbanos en la comuna de Huasco**

Parámetro	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
Concentración [mg/kg]	15	28.571	22	500	5	200	50	63	26	4.700	32.155	1.500	9	50	140	78
País referencia	Holanda	EMEG	México	Canadá	Nueva Zelanda	Canadá	Canadá	Canadá	EMEG	USA	BKG	Australia	RMEG	Canadá	Canadá	México

Para el suelo superficial de uso industrial, considerando los valores de referencia de Tabla 71 de este informe, se proponen los siguientes valores de referencia:

**Tabla 82. Valores de Referencia para uso de suelos industriales en la comuna de Huasco**

Parámetro	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
Concentración [mg/kg]	15	28.571	55	625	12	90	91	87	17.143	820.000	2.600	1	89	50	130
País referencia	Holanda	EMEG	Holanda	Holanda	Holanda	Brasil	Canadá	Canadá	RMEG	USA	USA	Suiza	Canadá	Suiza	Canadá

Para el suelo superficial de uso agrícola, considerando los valores de referencia de Tabla 72 de este informe, se proponen los siguientes valores de referencia:

**Tabla 83. Valores de Referencia para uso de suelos agrícolas en la comuna de Huasco**

Parámetro	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
Concentración [mg/kg]	20	28.571	22	75	20	200	13	63	26	4.700	32.155	1.500	0,1	50	70	78
País referencia	Canadá	EMEG	México	Brasil	Australia	Canadá	Brasil	Canadá	EMEG	USA	BKG	Australia	Brasil	Canadá	Brasil	México

Para el caso de la definición de estos valores de referencia, el nivel de riesgo asociado a la presencia de contaminantes en el suelo es evaluado por medio de la revisión de las normativas internacionales de calidad, puesto que estos valores incorporan el riesgo de exposición al contaminante por contacto con el suelo.

De acuerdo a lo anterior, una desventaja de este método es que se basa en valores internacionales con realidades de otros países, los cuales solo algunos de ellos cuentan con características geológicas, edafológicas, climáticas y ambientales similares, pero no iguales. Esta situación, podría conducir a subvalorar o sobrevalor alguna situación de riesgo local.

#### **9.4.2.1.2 Opción 2. Estimación de Valores de Referencia en base Valores de Alerta (VA) de metales en el suelo.**

En ese caso, la definición de valores de referencia se realiza en base a las características toxicológicas de los contaminantes y a aspectos generales de los receptores, es decir, desde un enfoque de riesgos. La metodología descrita en la Regional Screening Levels US EPA, se basa en supuestos sobre las vías de exposición, estimaciones sobre el riesgo y datos de la toxicidad, para cada elemento o compuesto químico. Cada elemento puede estar clasificados, de acuerdo a su toxicidad, en tres tipos: cancerígenos, no cancerígenos y mutagénicos. Para el caso de este estudio, se considerará la situación cancerígena y no cancerígena. Las ecuaciones han sido desarrolladas por separado para cada uno de estos tipos de elementos.

A continuación, se presentan algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta para la estimación y definición de valores de referencia.

#### **9.4.2.1.2.1 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN**

##### **9.4.2.1.2.1.1 RECEPTORES HUMANOS DE INTERÉS Y ESCENARIOS DE EXPOSICIÓN**

Para la definición de valores de referencia local, se debe considerar los usos de suelo actual de los suelos: residencial, industrial y agrícola. Se deben identificar los receptores que para efectos de este análisis se considerarán los adultos y niños. También deben identificarse las rutas de exposición potenciales para receptores dentro del área de evaluación, válidas para cada uno de los escenarios de exposición identificados:

- **Ingestión incidental suelo:** se refiere a la ingesta accidental (o voluntaria en caso de niños) de suelo o polvo con presencia de contaminantes.
- **Contacto dérmico suelo:** se refiere al contacto de la piel con suelo o polvo con presencia de contaminantes.
- **Inhalación partículas suelo:** se refiere a la inhalación de partículas resuspendidas en el aire provenientes de un suelo con presencia de contaminantes.

#### 9.4.2.1.2.1.2 FACTORES DE EXPOSICIÓN Y SUS FUENTES DE INFORMACIÓN

Los factores de exposición humana (FEH) son variables que describen características biológicas y fisiológicas del receptor humano y que permiten el ingreso de sustancias químicas al organismo, por ejemplo, peso corpóreo, volumen de aire inspirado por hora o por día, agua ingerida por día, tasa diaria de alimento ingerido, superficie dérmica del cuerpo expuesta, absorción dérmica por día, entre otros. Existe amplia información respecto a los valores máximos, mínimos, mediana, y diversas circunstancias que definen los factores de exposición.

Los Factores Temporales (TFDE) se refieren al tiempo durante el cual la sustancia está en contacto con el límite exterior del organismo, como la duración, frecuencia y largo del contacto. Para sustancias que ingresan al organismo por la vía respiratoria y dérmica, se supone que la penetración (exposición) es inmediata, y por lo tanto, el tiempo de contacto es igual a la duración de la exposición. Típicamente la exposición se expresa en horas/día.

El valor numérico de los factores de exposición FEH y los factores temporales TFDE dependen de las circunstancias que ocurren durante la exposición. En la Tabla 84 a continuación, se presentan los valores que se emplean para estimar valores de alerta.

**Tabla 84. Factores de exposición y temporales**

Parámetro	Escenario agrícola	Escenario Industrial	Escenario residencial	Unidad
Frecuencia de Exposición (FE)	350	250	350	días/año
Duración Exposición (DE) – adulto	20	25	20	Años
Duración Exposición (DE) – niño	6	-	6	Años
Tiempo de exposición (TE)	24	8	24	hr/día
Tasa de ingesta de suelo (IIS) – adulto	100	100	100	mg/día

Parámetro	Escenario agrícola	Escenario Industrial	Escenario residencial	Unidad
Tasa de ingesta de suelo (IIS) – niño	200	-	200	mg/día
Área de dermis expuesta (SD) - adulto	6.032	3.527	6.032	cm <sup>2</sup> dermis/evento
Área de dermis expuesta (SD) - niño	2.373	-	2.373	cm <sup>2</sup> dermis/evento
Factor de adherencia dérmica (FAD) - Adulto	0,07	0,12	0,07	mg/cm <sup>2</sup> dermis
Factor de adherencia dérmica (FAD) - niño	0,2	-	0,2	mg/cm <sup>2</sup> dermis
Factor de emisión de particulado (PEF)	1,36 * 10 <sup>9</sup>	1,36 * 10 <sup>9</sup>	1,36 * 10 <sup>9</sup>	m <sup>3</sup> /Kg
Peso cororal (PC) - adulto	80	80	80	Kg
Peso cororal (PC) - niño	15	-	15	Kg
Periodo vital (LT)	70	70	70	años
Cociente de Riesgo Onjetivo (TQH)	1	1	1	-
Nivel de riesgo cancerígeno aceptable (TR)	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	-

**Nota:** para el escenario industrial se han considerado factores de exposición para un trabajador que efectúa trabajos al interior y exterior de una industria de forma combinada (*composite worker*)

Fuente: US EPA. (2014) y RAIS (2018).<sup>38</sup>

#### 9.4.2.1.2.1.3 EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD/PERFILES TOXICOLÓGICOS<sup>39</sup>

En esta etapa se identifica la toxicidad de los contaminantes a los cuales la persona está o puede estar expuesta. Para evaluar los efectos nocivos sobre la salud humana de los contaminantes de interés se recopiló información cualitativa acerca de su toxicidad.

#### A. Aluminio (Al)

El aluminio (Al) es el elemento metálico más frecuente en la corteza terrestre, comprende aproximadamente el 8% de su composición.

En cuanto a sus efectos en humanos, se ha determinado que exposiciones a altos niveles de aluminio en polvo en el aire puede resultar en trastornos respiratorios como tos y

<sup>38</sup> US EPA (2014). Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/oswer\\_directive\\_9200.1-120\\_exposurefactors\\_corrected2.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/oswer_directive_9200.1-120_exposurefactors_corrected2.pdf)

RAIS (2018). Disponible en: [https://rais.ornl.gov/tools/rais\\_chemical\\_risk\\_guide.html](https://rais.ornl.gov/tools/rais_chemical_risk_guide.html)

<sup>39</sup> ATSDR (2019). Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_toxfaqs\\_index.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_toxfaqs_index.html)

asma. Algunos estudios han encontrado que gente con la enfermedad de Alzheimer tiene más aluminio que lo normal en el cerebro, no se sabe si el aluminio causa esta enfermedad o si la acumulación de aluminio ocurre en gente que ya tiene la enfermedad. Niños y adultos que recibieron altas dosis de aluminio como tratamiento para ciertos problemas de salud, contrajeron enfermedades a los huesos, lo que sugiere que el aluminio puede causar problemas al esqueleto. En ciertas personas se ha observado irritación de la piel a raíz del uso de desodorantes que contienen clorhidrato de aluminio.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) y la US EPA no han clasificado al aluminio en relación a carcinogenicidad. El aluminio no ha producido cáncer en estudios en animales.

### **B. Antimonio (Sb)**

La exposición al antimonio puede ser a través de la inhalación, ingestión y contacto dérmico. El principal órgano afectado para la exposición oral aguda al antimonio parece ser el tracto gastrointestinal (irritación, diarrea, vómitos) y la exposición a largo plazo provoca trastornos hematológicos y hepatotoxicidad leve. La exposición por inhalación a antimonio afecta el tracto respiratorio, el sistema cardiovascular (electrocardiogramas y presión arterial alterada) y riñones (cambios histológicos). Sólo existe evidencia limitada de trastornos de la reproducción por exposición a antimonio.

No existen datos que indiquen que la exposición dermal provoque daños en humanos, pero si existe evidencia en conejos. Irritación de los ojos debido a la exposición a gases con antimonio ha sido reportada para los seres humanos.

En algunos estudios en ratas que respiraron altos niveles de antimonio se observó cáncer del pulmón. No hay estudios disponibles en seres humanos, por lo tanto no se sabe si el antimonio produce cáncer en seres humanos. La US EPA no ha clasificado al antimonio en cuanto a carcinogenicidad. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), ha clasificado al trióxido de antimonio como grupo 2B (posible cancerígeno para humanos) y al trisulfuro de antimonio como grupo 3 (no clasificable como cancerígeno para humanos).

### **C. Arsénico (As)**

La toxicidad del arsénico inorgánico (As) depende de su estado de valencia (-3, +3 o +5) y también de las propiedades físicas y químicas del compuesto de arsénico del que se trate. Los compuestos trivalentes (As+3) son generalmente más tóxicos que los compuestos pentavalentes (As+5), y los compuestos más solubles en agua suelen ser más tóxicos y tienen más probabilidades de tener efectos sistémicos que los compuestos menos solubles, los que tienen más probabilidades de causar enfermedades crónicas pulmonares si se inhalan. Uno de los compuestos inorgánicos de arsénico más tóxicos es el gas arsina (AsH<sub>3</sub>). Cabe señalar que los animales de laboratorio son generalmente menos sensibles que los humanos a los efectos tóxicos del arsénico inorgánico. Además, en los roedores, los efectos críticos parecen ser la inmunosupresión y la disfunción hepato-renal, mientras que en los humanos, la piel, el sistema vascular y el sistema nervioso periférico son los órganos que en primera instancia se ven afectados por exposición a arsénico.

En cuanto a sus efectos en humanos, el efecto más característico por exposición oral prolongada a arsénico inorgánico es un cuadro de alteraciones de la piel tales como la hiper-pigmentación y queratosis. Estas incluyen un oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso, a menudo asociados con alteraciones en los vasos sanguíneos de la piel. Si la piel entra en contacto directo con compuestos inorgánicos de arsénico, esta puede sufrir irritación, enrojecimiento e hinchazón. La exposición prolongada a arsénico puede producir también desórdenes circulatorios y de los nervios periféricos.

US EPA establece que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos por exposición oral y por inhalación (Clase A), en base a suficiente evidencia en humanos. Un aumento de la mortalidad por cáncer de pulmón se observó en varias poblaciones humanas expuestas principalmente a través de la inhalación. Además, en poblaciones en las que el agua potable posee un alto contenido de arsénico inorgánico se observó un aumento de la mortalidad por cáncer en varios órganos internos (hígado, riñón, pulmón y vejiga) y una mayor incidencia de cáncer a la piel. Adicionalmente, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos (Grupo 1 – cancerígeno para humanos).

#### **D. Bario (Ba)**

Los efectos adversos para la salud en los seres humanos dependen de la solubilidad de los compuestos de bario a los que está expuesto el individuo, en general se espera que los solubles sean de mayor preocupación para la salud que los insolubles, por su mayor

potencial de absorción. El ion  $Ba^{2+}$  y los compuestos solubles de bario (en particular, cloruro, nitrato, hidróxido) son tóxicos para los seres humanos, también lo es el carbonato de bario, debido a su solubilidad en el tracto gastrointestinal. Hay una serie de informes de efectos graves para la salud en las personas intencionalmente o accidentalmente expuestos al carbonato de bario o el cloruro vía ingestión. El efecto predominante es la hipopotasemia, que puede dar lugar a taquicardia ventricular, hipertensión y/o hipotensión, debilidad muscular y parálisis. Además efectos gastrointestinales como vómitos, calambres abdominales y diarrea suelen informarse poco después de la ingestión.

En los casos de personas expuestas a concentraciones muy altas de bario en el aire, los efectos incluyen alteraciones en las lecturas de electrocardiogramas (ECG), debilidad muscular y parálisis, hipopotasemia, calambres abdominales, náuseas y vómitos. Los datos disponibles de los animales proporcionan una fuerte evidencia de que el efecto adverso más sensible de bario es la toxicidad renal, en ratas y ratones se ha observado neuropatía después de exposición al bario a largo plazo por vía oral. En personas sometidas a la ingestión de altas dosis de bario se ha producido daño renal.

Varios estudios han examinado el potencial carcinogénico de bario después de la exposición oral y no se ha encontrado un aumento significativo en la incidencia de tumores. Ningún estudio ha evaluado adecuadamente la carcinogenicidad de bario después de la exposición por inhalación. El Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no han clasificado al bario en cuanto a su carcinogenicidad. La US EPA ha determinado que es improbable que ingerir bario produzca cáncer en seres humanos y que hay información inadecuada para determinar si inhalar bario produce cáncer en seres humanos.

### **E. Cadmio (Cd)**

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio).

Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea.

La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencias para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos.

## **F. Cobalto (Co)**

El cobalto es un elemento natural que se encuentra en las rocas, el suelo, el agua, plantas y animales. El cobalto se usa para producir aleaciones usadas en la manufactura de motores de aviones, imanes, herramientas para triturar y cortar y articulaciones artificiales para la rodilla y la cadera. Los compuestos de cobalto se usan también para colorear vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana.

El cobalto entra al ambiente desde fuentes naturales y al quemar carbón o petróleo o durante la producción de aleaciones de cobalto. Se asociará con partículas que se depositarán en el suelo en unos pocos días. Algunos compuestos de cobalto se pueden disolver en el agua.

El cobalto tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud de seres humanos. El cobalto es beneficioso porque forma parte de la vitamina B12.

La exposición a niveles altos de cobalto puede producir efectos en los pulmones y el corazón. También puede producir dermatitis. En animales expuestos a niveles altos de cobalto también se han observado efectos en el hígado y los pulmones.

La exposición a altas cantidades de radioactividad emitida por el cobalto puede dañar las células en su cuerpo. Aunque es improbable que ocurra, usted también puede sufrir el síndrome de radiación aguda que incluye náusea, vómitos, diarrea, hemorragia, coma y aun la muerte.

No se ha demostrado que el cobalto no radiactivo produce cáncer en seres humanos o en animales después de exposición a través de los alimentos o el agua. Sin embargo, se ha observado cáncer en animales que respiraron cobalto o cuando se colocó cobalto

directamente en el tejido muscular o bajo la piel. Basado en datos en animales de laboratorio, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que el cobalto y los compuestos de cobalto son posiblemente carcinogénicos en seres humanos.

La exposición a altos niveles de radiación de cobalto puede producir alteraciones en el material genético en el interior de las células, lo que puede conducir al desarrollo de ciertos tipos de cáncer.

### **G. Cobre (Cu)**

En cuanto a sus efectos en humanos, la ingestión de sulfato de cobre en altas cantidades (gramos) produce náuseas, vómitos, calambres estomacales, diarrea, sudoración, hemólisis intravascular y posible fallo renal; en raras ocasiones convulsiones, coma y muerte. La ingestión intencional de niveles altos de cobre puede producir daño del hígado y los riñones y puede causar la muerte. La ingestión de agua en contacto con recipientes de cobre puede producir irritación del tracto gastrointestinal. La inhalación de polvos, humos o nieblas de sales de cobre puede causar congestión nasal y de las mucosas y ulceración con perforación del tabique nasal. Los efectos tóxicos tras exposición a largo plazo (intoxicación crónica) sólo parecen existir en personas que padecen la enfermedad de Wilson (heredada genéticamente) manifestando en casos de intoxicación lesiones en el hígado, riñones, sistema nervioso central, huesos y ojos.

La US EPA ha concluido que el cobre no es clasificable como carcinogénico humano (Clase D), debido a que no hay datos en humanos, los datos de ensayos con animales son insuficientes y los datos de mutagenicidad son equívocos.

### **H. Cromo (Cr)**

El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse en forma de líquido, sólido o gas. Las formas más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial.

El cromo (III) es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a usar azúcares, proteínas y grasas.

Respirar niveles altos de cromo (VI) puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. Las concentraciones de cromo en el aire que producen estos efectos pueden ser diferentes para los diferentes tipos de compuestos de cromo; los efectos del cromo (VI) ocurren a concentraciones mucho más bajas que los del cromo (III).

El efecto principal que se observa en animales que ingieren compuestos de cromo (VI) son irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado y anemia. Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas.

En animales de laboratorio machos expuestos al cromo (VI) también se han observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo.

El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede producir úlceras en la piel. Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III). En algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos.

En trabajadores, la inhalación de cromo (VI) ha producido cáncer del pulmón. El cromo (VI) también produce cáncer del pulmón en animales. En seres humanos y animales expuestos a cromo (VI) en el agua potable se ha observado un aumento de tumores estomacales.

## **I. Estroncio (Sr)**

El estroncio es un elemento natural que se encuentra en rocas, el suelo, polvo, carbón y petróleo. El estroncio natural no es radiactivo y se conoce como estroncio estable o simplemente estroncio.

No se ha demostrado que la exposición a niveles bajos de estroncio estable afecta la salud de adultos, pero puede perjudicar a los niños.

No se ha demostrado que respirar o ingerir niveles bajos niveles de estroncio radiactivo perjudica la salud. Los niveles altos de estroncio radiactivo pueden dañar la médula de los huesos y producir anemia y prevenir que la sangre coagule apropiadamente.

El único compuesto de estroncio estable que puede producir cáncer es el cromato de estroncio, pero esto se debe al cromo y no al estroncio.

La exposición a niveles altos de estroncio radiactivo puede producir cáncer. En seres humanos expuestos a cantidades relativamente altas de estroncio se ha observado leucemia. En animales de laboratorio también se han observado leucemia y cáncer de los huesos, la nariz, los pulmones y la piel.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que el estroncio radiactivo es carcinogénico en seres humanos.

#### **J. Hierro (Fe)**

El hierro es el segundo metal más abundante y el cuarto de todos los elementos, superado únicamente por el oxígeno, el silicio y el aluminio.

Algunas características del acero, es decir, si es blando, suave, medio o duro, vienen determinadas por su contenido en carbono, que puede variar entre un 0,10 y un 1,15 %. Si se inhala, el hierro es un irritante local para los pulmones y el tracto gastrointestinal. Los informes indican que la exposición prolongada a una mezcla de polvo de hierro y otros metales puede afectar a la función pulmonar.

Los experimentos en animales indican que el polvo de óxido de hierro podría actuar como una sustancia “co-cancerígena”, favoreciendo el desarrollo del cáncer cuando se combina simultáneamente con la exposición a sustancias cancerígenas.

#### **K. Manganeso (Mn)**

El manganeso es un metal que se encuentra en forma natural en diversos tipos de rocas. El manganeso puro es de color plateado, pero no se encuentra en esta forma en la naturaleza. Se combina con otras sustancias tales como oxígeno, azufre o cloro. El manganeso ocurre naturalmente en la mayoría de los alimentos y además se puede agregar a algunos alimentos.

La manera principal a través de la cual usted puede exponerse al manganeso es ingiriendo alimentos o suplementos dietéticos que contienen manganeso. Los vegetarianos que consumen alimentos ricos en manganeso tales como granos, habichuelas y nueces, como también las personas que toman mucho té, pueden ingerir cantidades de manganeso más altas que la persona promedio.

Ciertas ocupaciones tales como soldar o trabajar en una fábrica donde se manufactura acero pueden aumentar sus probabilidades de exposición a niveles altos de manganeso. Niveles bajos de manganeso se detectan rutinariamente en agua subterránea, agua potable y en el suelo. Tomar agua que contiene manganeso o nadar o bañarse en agua que contiene manganeso puede exponerlo a niveles bajos de esta sustancia.

La EPA concluyó que la información científica existente es insuficiente para determinar si el exceso de manganeso puede producir cáncer.

#### **L. Mercurio (Hg)**

El mercurio es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El mercurio metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro.

El mercurio se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de mercurio inorgánicos o “sales,” las que son generalmente polvos o cristales blancos. El mercurio también se combina con carbono para formar compuestos de mercurio orgánicos. El más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de mercurio en el medio ambiente, mayor es la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen.

El sistema nervioso es muy susceptible a todas formas de mercurio. El metilmercurio y los vapores de mercurio metálico son más nocivos que otras formas, ya que una mayor cantidad de estas formas de mercurio llega al cerebro. La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico, u orgánico puede dañar en forma permanente a los riñones, el cerebro, y al feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o la audición y problemas de la memoria.

La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones al pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación a los ojos.

### **M. Molibdeno (Mo)**

El molibdeno es considerado como un metal de baja toxicidad para seres humanos y existe limitada evidencia clínica y epidemiológica acerca de sus efectos adversos. Las principales vías de exposición son por inhalación, ingestión y absorción cutánea. Puede provocar intoxicación aguda en altas dosis: irritación gastrointestinal, diarrea, coma y muerte por insuficiencia cardiaca, Neumoconiosis. De acuerdo con el Departamento de Salud y Servicios para personas mayores de New Jersey la exposición a largo plazo a Molibdeno puede causar dolor de cabeza, fatiga, inapetencia, dolores musculoesqueléticos, bajo conteo de glóbulos rojos y potencial daño de hígado y riñón.

La exposición crónica a altas concentraciones del elemento puede resultar en altas concentraciones de ácido úrico y la manifestación de enfermedades como la gota (US EPA, 1993). Estudios relativos a efectos adversos en la reproducción de ratas han permitido establecer un NOAEL de 0.9 mg/kg/día e igualmente establecer un nivel máximo de ingesta tolerable en humanos de 0.03 mg/kg/día (IOM, 2001).

Un bioensayo de inhalación prolongada de trióxido de molibdeno en ratones entregó “alguna evidencia” de carcinogenicidad (NTP, 1997). Otro estudio sugiere la posible relación entre exposición a molibdeno y cáncer al pulmón (Droste et al., 1999), pero no existe a la fecha evidencia epidemiológica al respecto. La US EPA ha concluido que el molibdeno no es clasificable como carcinogénico humano (Clase D), debido a que los estudios existentes para evaluar el potencial cancerígeno del molibdeno y de compuestos de molibdeno son inadecuados.

### **N. Niquel (Ni)**

Es un elemento muy móvil y abundante en el ambiente. Se encuentra principalmente combinado con oxígeno (óxidos) o azufre (sulfuros), precipita principalmente con los óxidos de hierro y manganeso. Se encuentra en la mayoría de los suelos, aunque en concentraciones muy variables.

El níquel se considera como un probable elemento esencial para humanos en pequeñas cantidades, aunque no se ha comprobado. La absorción de níquel depende de su forma físico-química, siendo las formas solubles en agua las que se absorben más fácilmente. Es tóxico para plantas a niveles bastante menores que para animales y humanos.

El efecto adverso en la salud más común en los seres humanos es una reacción alérgica en la piel. Con menos frecuencia, algunos humanos que son sensibles al elemento tienen ataques de asma, u otras reacciones luego de exposición a través de la comida, agua o polvo. Algunas personas que trabajan en refinerías de níquel o plantas que procesan níquel han sufrido bronquitis crónica y alteraciones del pulmón. Estas personas inhalan cantidades de níquel mucho más altas que los niveles que se encuentran normalmente en el ambiente. Algunos trabajadores que tomaron agua que contenía altos niveles de níquel sufrieron dolores de estómago y efectos adversos en la sangre y los riñones. En ratas y ratones que respiraron compuestos de níquel se han observado daño de los pulmones y de la cavidad nasal. Comer o beber grandes cantidades de níquel ha producido enfermedad del pulmón en perros y ratas y ha afectado el estómago, la sangre, el hígado, los riñones y el sistema inmunitario en ratas y ratones, como también la reproducción y el desarrollo.

La US EPA ha clasificado al sulfuro de níquel y el polvo de níquel refinado como cancerígenos para humanos en el grupo de peso de evidencia A, sobre la base de aumento de los riesgos de cáncer de pulmón y nasal en humanos expuestos al polvo de níquel refinado, la mayoría de los cuales se cree que es sulfuro de níquel; aumento de la incidencia de tumores en varias especies y cepas de animales para múltiples vías de administración; y resultados positivos en ensayos de genotoxicidad. El tetracarbonilo de níquel es considerado por US EPA como probable carcinógeno humano en base a suficiente evidencia en animales (grupo B2). Se han observado carcinomas pulmonares en ratas a las que se administró este compuesto por inhalación y tumores malignos en diversos sitios en ratas a las que se administró por inyección intravenosa; además el níquel administrado en forma de tetracarbonilo de níquel se une al ADN.

Por otra parte, el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU (DHHS), ha determinado que es razonable predecir que el níquel metálico es carcinogénico y que los compuestos de níquel son carcinogénicos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que algunos compuestos de níquel son carcinogénicos en seres humanos (grupo 1) y que el níquel metálico posiblemente es carcinogénico en seres humanos.

## Ñ. Plata (Ag)

La plata es uno de los elementos básicos que forman nuestro planeta. Si bien no es muy abundante, se encuentra en forma natural en el medio ambiente en forma de metal blando de color “plateado”. En virtud de que es un elemento, la plata no es fabricada por el hombre; las personas aprovechan su forma metálica para elaborar joyas, cubiertos, equipos electrónicos y material para rellenos dentales. También se encuentra en forma de polvillo blanco (nitrato de plata y cloruro de plata) o de compuestos de color gris oscuro a negro (sulfuro de plata y óxido de plata). Se podría encontrar plata en sitios de desechos peligrosos bajo la forma de estos compuestos mezclados con el suelo y/o el agua. Por lo tanto, esta reseña se ocupa principalmente de estos compuestos de plata. A lo largo de esta reseña los distintos compuestos de plata a veces serán llamados simplemente plata.

La plata que es liberada al medio ambiente puede viajar grandes distancias a través del aire y del agua. La lluvia arrastra los compuestos de plata que se encuentran en los suelos y estos compuestos finalmente llegan al agua subterránea. La plata es un elemento estable en el medio ambiente y permanece de la misma forma hasta que es extraído nuevamente. Debido a que es un elemento, no se descompone, pero puede cambiar de forma al combinarse con otras sustancias. Con el tiempo puede cambiar de la forma original en que fue liberada a plata metálica y luego volver a ser parte de los mismos o de otros compuestos. La forma en que se encuentra la plata depende de las condiciones ambientales.

La plata puede entrar a su cuerpo a través de la boca, la garganta o el tracto digestivo después de comer alimentos o beber agua que contienen este elemento, o a través de los pulmones, si respira aire que contiene plata. También puede entrar al cuerpo a través de la piel, al introducir las manos en soluciones que contienen compuestos de plata como las que se utilizan para la fotografía, o cuando usted entra en contacto con polvos que contienen plata. Se sabe que la plata también entra al cuerpo cuando se ingieren o se aplican en la piel o las encías medicinas que la contienen. Por lo general entrará menos plata en el cuerpo a través de la piel que por los pulmones o el estómago.

Debido a que muchos compuestos de plata se disuelven en el agua y no se evaporan, la forma más común en que la plata se introduce al cuerpo de una persona que vive cerca de un sitio de desechos peligrosos es al beber agua que contiene plata o al comer alimentos cultivados en suelos con plata. La plata puede también entrar al cuerpo cuando se come

tierra que contiene este elemento. La mayor parte de la plata que se ingiere o que se inhala sale del cuerpo a través de las heces, en el transcurso de una semana. Muy poca plata sale por la orina. No se sabe cuánta de la plata que se introduce por la piel sale del cuerpo. Parte de la plata que se ingiere, se inhala o que atraviesa la piel se puede acumular en varias partes del cuerpo.

## **O. Plomo (Pb)**

El plomo es un elemento natural que es persistente en el agua y suelo. La mayor parte del plomo en el medio ambiente es de origen antropogénico. La exposición humana se produce principalmente a través de la dieta, el aire, el agua potable, y la ingestión de restos de suciedad y pintura.

La eficiencia de la absorción de plomo depende de la vía de exposición, la edad y el estado nutricional. Los humanos adultos absorben aproximadamente el 10-15% del plomo ingerido, mientras que los niños pueden absorber hasta un 50%, dependiendo de si el plomo está en la dieta, la suciedad o las partículas de pintura. Más del 90% de las partículas de plomo que se depositan en las vías respiratorias son absorbidos en la circulación sistémica. El plomo inorgánico no se absorbe por la piel y, en consecuencia, esta ruta no contribuye considerablemente a la carga corporal total de plomo.

El plomo absorbido en el cuerpo se distribuye en tres compartimentos principales: la sangre, el tejido blando y el hueso. El hueso contiene aproximadamente 95% de la carga corporal total de plomo en adultos y un 73% en niños. La vida media del plomo óseo es más de 20 años. La concentración de plomo en sangre cambia rápidamente con la exposición, y su vida media es de sólo 25-28 días. El plomo en la sangre está en equilibrio con el plomo en el tejido óseo y blando. Los tejidos blandos que absorben el plomo son el hígado, los riñones, el cerebro y los músculos. El plomo no se metaboliza en el cuerpo y se excreta principalmente en la orina. La exposición al plomo es evidenciada por los niveles elevados de plomo en sangre.

Aunque se producen efectos similares en los adultos y los niños, los niños son más sensibles a la exposición al plomo que los adultos. El daño cerebral irreversible se produce a niveles de plomo en sangre mayores que o iguales a 100 ug/dL en adultos y en 80-100 ug/dL en los niños, la muerte puede ocurrir en los mismos niveles en sangre en los niños.

Los niños que sobreviven a estos altos niveles de exposición permanente sufren retraso mental grave.

La US EPA no ha desarrollado una dosis de referencia (DdR) para el plomo, ya que la considera una sustancia tóxica sin umbral. Por esto la US EPA ha desarrollado dos modelos que pueden ser aplicados para evaluar su riesgo, uno vinculado a niños (modelo IEUBK) y otro a adultos (modelo Adult Lead Methodology (ALM)). Ambos modelos se basan en la estimación de la concentración de plomo en sangre.

El plomo se encuentra en el peso de evidencia del Grupo B2 (EPA, 1994b), como probable carcinógeno humano en base a suficiente evidencia en animales. En base a lo anterior, existen niveles de referencia para efectos cancerígenos vinculados con la exposición a plomo, como los propuestos por la Agencia de protección ambiental de California (CalEPA, California Environmental Protection Agency). Esta agencia propone niveles de referencia asociados a efectos cancerígenos vinculados con la ingestión e inhalación de plomo (ver Tabla N°59). Por otra parte, el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el plomo y los compuestos de plomo son carcinogénicos en seres humanos, y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico probablemente es carcinogénico en seres humanos (grupo 2A), y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de plomo pueden producir cáncer en seres humanos.

#### **P. Vanadio (V)**

La población general puede estar expuesta al vanadio principalmente a través de la ingestión oral (en los alimentos) y la inhalación. En base a estudios de exposición laboral, estudios experimentales en humanos y en animales de laboratorio, tras exposición por inhalación se ve afectado el tracto respiratorio y tras la exposición oral, el sistema gastrointestinal, sistema hematológico y el desarrollo de organismo en general. Aunque son limitados los datos disponibles en los seres humanos, signos de irritación de las vías respiratorias (por ejemplo, tos, jadeo, dolor de garganta) han sido reportadas en pacientes gravemente expuestos a vanadio y polvo de pentóxido de vanadio. Estudios en animales de laboratorio proporcionan información que demuestra que el aparato respiratorio es el más sensible tras la exposición a la inhalación de vanadio. Los síntomas de irritación gastrointestinal (diarrea, retortijones, náuseas), se han observado en seres humanos tras exposición repetida a metavanadato de sodio o de sulfato de vanadio, desarrollando luego

tolerancia a estos efectos. Efectos hematológicos, incluyendo reducciones de los niveles de eritrocitos, disminución de la hemoglobina, y el aumento de reticulocitos se han observado en ratas expuestas oralmente vanadio. Información sobre el potencial de vanadio para inducir efectos sobre el desarrollo en los seres humanos es limitada, pero los efectos de desarrollo se han observado en animales de laboratorio.

Ningún estudio ha analizado el potencial carcinogénico de vanadio en seres humanos. Un aumento en la incidencia del cáncer de pulmón se ha observado en ratones expuestos crónicamente a pentóxido de vanadio, también hay evidencia de cáncer de pulmón en ratas. La carcinogenicidad no ha sido adecuadamente evaluada en animales de laboratorio después de la exposición oral. Un estudio clasifica al pentóxido de vanadio como posible carcinógeno para los humanos, razón por la que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el vanadio es posiblemente carcinogénico en seres humanos (grupo 2B), basado en suficiente evidencia en animales e insuficientes pruebas en humanos. El Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. (DHHS, por sus siglas en inglés) y la US EPA no han clasificado la carcinogenicidad de vanadio.

#### **Q. Zinc (Zn)**

El Zinc es un elemento esencial de las cantidades diarias recomendadas que van de 5 mg para los niños de 15 mg para hombres adultos. En los seres humanos, las dosis orales tóxicas de zinc pueden causar náuseas, vómitos, diarrea y calambres abdominales y en algunos casos, hemorragia gástrica aguda. La ingestión de cloruro de zinc puede causar ardor en la boca y la garganta, vómitos, faringitis, esofagitis, la hipocalcemia y la actividad amilasa indicativos de pancreatitis. El fosforo de zinc en condiciones de acidez, por ejemplo en el estómago, puede causar vómitos, dolor abdominal, letargo, hipotensión, arritmias cardíacas, colapso circulatorio, edema pulmonar, convulsiones y daño renal. La dosis letal estimada es de 40 mg/kg. Animales tratados por vía oral con los compuestos de zinc pueden desarrollar pancreatitis, lesiones gastrointestinales y hepáticas.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no han clasificado al zinc en cuanto a carcinogenicidad. Basado en información incompleta de estudios en seres humanos y en animales, la US EPA ha determinado que el zinc se encuentra en el peso de la evidencia del Grupo D, no clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos (US EPA, 1991).

Una vez que se tengan en cuenta los antecedentes toxicológicos y epimedológicos, de cada elemento y sus receptores, se determina el VA genérico asociado a cada vía de exposición. Para el cálculo de las ecuaciones se establecieron distintos escenarios de exposición, en relación al tiempo efectivo de exposición. Toda la información se encuentra detallada en <http://www.epa.gov/risk/regional-screening-table>.

Es importante señalar, que los VA son:

- Concentraciones basadas en estimación de riesgo, que buscan proteger la salud humana.
- Indican que por debajo de estos valores, no se requieren mayores estudios, y que entregan información útil para el futuro uso del suelo.
- Específicos para la exposición y condiciones específicas del sitio.
- Potenciales metas para niveles objetivos de remediación.

#### 9.4.2.1.3 Metodología para determinar el VA<sup>40</sup>

A continuación, se presentan las ecuaciones para calcular los VA para suelos residenciales.

### A. Elementos no cancerígenos

#### A.1 Ingesta

$$VA \text{ ingesta (mg/kg)} = \frac{THQ * TE * DE * PC}{FE * DE * \frac{RBA}{RfDo} * IIS * 10^{-6}}$$

Donde:

THQ = Cociente de riesgo objetivo (sin unidad)

PC = Peso corporal (Kg)

TE = Tiempo promedio (año)

RfDo = Dosis de referencia oral (mg/kd-d) = depende del químico

FE = Frecuencia de exposición (día/año)

<sup>40</sup> Propuesta de la metodología propuesta en la Regional Screening Levels US EPA, que se basa en supuestos sobre las vías de exposición, estimaciones sobre el riesgo y datos de la toxicidad, para cada elemento o compuesto químico.

DE = Duración de exposición (año)

IIS = Tasa de ingestión diaria (mg/d)

RBA = Biodisponibilidad relativa = depende del químico

### **A.1 Contacto dérmico**

$$VA \text{ dérmico (mg/kg)} = \frac{THQ * TE * DE * PC}{FE * DE * \frac{1}{RfDo * GIABS} * SD * FAD * ABSd * 10^{-6}}$$

THQ = Cociente de riesgo objetivo (sin unidad)

PC = Peso corporal (Kg)

TE = Tiempo promedio (año)

RfDo = Dosis de referencia oral (mg/kd-d) = depende del químico

FE = Frecuencia de exposición (día/año))

DE = Duración de exposición (año)

GIABS = Absorción gastrointestinal=depende de cada químico

SD = Area de adherencia térmica

FAD = Factor de adherencia dérmica

ABSd = Absorción dermal = depende de cada químico

### **A.1 Inhalación**

$$VA \text{ inhalación (mg/kg)} = \frac{THQ * TE * DE * PC}{FE * DE * ET * \frac{1}{RfC} * \left(\frac{1}{VFs} * \frac{1}{PEf}\right)}$$

THQ = Cociente de riesgo objetivo (sin unidad)

PC = Peso corporal (Kg)

TE = Tiempo promedio (año)

ET = Tiempo efectivo como fracción de 1 día

RfC = Concentración de referencia por inhalación

FE = Frecuencia de exposición (día/año))

DE = Duración de exposición (año)

PEf = Factor de emisión de material particulado = varía dependiendo del tipo de suelo.

VFs = Factor de volatilización = se aplica para algunos elementos

El VA total sería:

$$VA \text{ total (mg/kg)} = \frac{1}{\frac{1}{VA \text{ ingesta}} + \frac{1}{VA \text{ dérmico}} + \frac{1}{VA \text{ inhalación}}}$$

## A. Elementos cancerígenos

### A.1 Ingesta

$$VA \text{ ingesta (mg/kg)} = \frac{TR * LT * TE}{CSFo * RBA * IFS * 10^{-6}}$$

Donde:

TR=riesgo cancerígeno

LT= periodo vital

CSFo = Factor de pendiente cancerígeno = depende de cada químico

TE = Tiempo promedio (año)

RBA = Biodisponibilidad relativa = depende del químico

IFc = Factor de ajuste por edad

### A.1 Contacto dérmico

$$VA \text{ dérmico (mg/kg)} = \frac{TR * LT * TE}{\left(\frac{CSFo}{GIABS}\right) * DFS * ABSd * 10^{-6}}$$

Para calcular el DFS, se utiliza la siguiente fórmula:

$$DFS = \frac{FEn * DE_n * SD_n * FAD_n}{PC_n} + \frac{FE_a * (DE_a - DE_n) * SD_a * FAD_a}{PC_{na}}$$

TR= Nivel de riesgo cancerígeno aceptable

LT =Tiempo de vida

CSFo = Factor de pendiente cancerígeno = depende de cada químico

TE = Tiempo promedio (año)

RBA = Biodisponibilidad relativa = depende del químico

IFc = Factor de ajuste por edad

GIABS = Absorción gastrointestinal = depende de cada químico

ABSd = Absorción dermal = depende de cada químico

FE = Frecuencia de exposición (día/año))

DE = Duración de exposición (año)

PEf = Factor de emisión de material particulado = varía dependiendo del tipo de suelo.

VF<sub>s</sub> = Factor de volatilización = se aplica para algunos elementos

SD = Area de adherencia térmica

FAD = Factor de adherencia dérmica

### A.1 Inhalación

$$VA \text{ inhalación (mg/kg)} = \frac{TR * LT * TE}{IUR * 1000 * DEa * ET * \left(\frac{1}{VF_s} * \frac{1}{PEf}\right)}$$

THQ = Cociente de riesgo objetivo (sin unidad)

PC = Peso corporal (Kg)

TE = Tiempo promedio (año)

RfC = Concentración de referencia por inhalación

FE = Frecuencia de exposición (día/año))

DE = Duración de exposición (año)

PEf = Factor de emisión de material particulado = varía dependiendo del tipo de suelo.

VF<sub>s</sub> = Factor de volatilización = se aplica para algunos elementos

IUR = Unidad de inhalación riesgosa

El VA total sería:

$$VA \text{ total (mg/kg)} = \frac{1}{\frac{1}{VA \text{ ingesta}} + \frac{1}{VA \text{ dérmico}} * \frac{1}{VA \text{ inhalación}}}$$

Algunos de los valores que deben ser ingresados en los algoritmos que permiten el cálculo de las dosis/concentración de exposición son dependientes de las sustancias que se evalúan, debido a que éstas tienen características propias que inciden en su absorción.

Para el cálculo de los valores de alerta, se usó la herramienta "RAIS Risk Exposure Models for Chemicals"<sup>41</sup>, que tiene incorporadas las ecuaciones antes descritas. Se consideraron los factores de exposición para cada elemento descritos en Tabla 84 de este informe. En el ANEXO 16, se presentan las tablas con el cálculo de los Valores de Alerta.

<sup>41</sup> [https://rais.ornl.gov/tools/rais\\_chemical\\_prg\\_guide.html](https://rais.ornl.gov/tools/rais_chemical_prg_guide.html)

De acuerdo a lo anterior, los VA obtenidos son los siguientes:

**VA para uso suelo urbano/residencial:**

VA/Parámetros	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
VA cancerígeno	-	-	0,68	-	2.120	-	424	-	-	-	-	-	-	14.700	81,8	-
VA no cancerígeno	391	77.400	35	15.300	71	23.500	23	3.130	-	46.900	54.800	1.830	6	1.550	-	394

**VA para uso suelo industrial:**

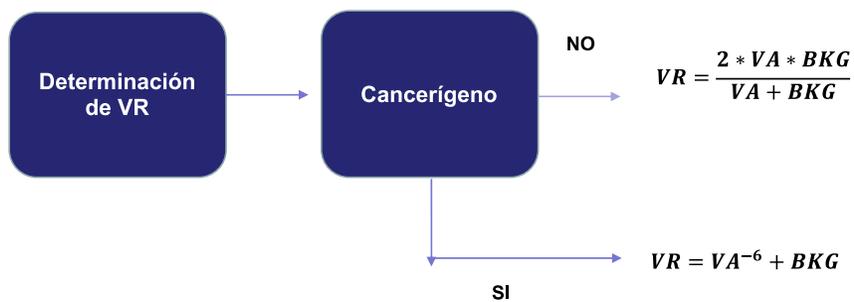
VA/Parámetros	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
VA cancerígeno	-	-	3	-	9.260	-	1.850	-	-	-	-	-	-	64.100	385	-
VA no cancerígeno	5.840	1.120.000	479	217.000	982	350.000	347	46.700	-	701.000	818.000	25.600	36,7	22.400	-	5.890

**VA para uso suelo agrícola:**

VA/Parámetros	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
VA cancerígeno	-	-	0,01	-	9.260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
VA no cancerígeno	134	9.830	1,82	559	1	154	2,3	50,2	-	134	6.880	-	0,096	100	-	48,3

Para estimar los Valores de Referencia (VR), se utilizó la siguiente formulación definida en el estudio de PGS Chile (2016), y que se describe a continuación:

Figura 62. Cálculo de Valores de Referencia para elementos cancerígenos y no cancerígenos



Fuente: Elaboración propia en base a estudio PGS Chile 2016

De acuerdo a la fórmula anterior, y utilizando los Background (BKG) definidos en el marco de este estudio, los Valores de Referencia por uso de suelo, serían los siguientes:

**Valores de Referencia para uso suelo urbano/residencial:**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
VR <sub>no</sub> cancerígeno	9,87	-	22,50	120,56	4,83	331,64	13,04	122	-	108,14	40.528,87	960,47	0,15	27,45	-	125,42
VR <sub>c</sub> cancerígeno	-	-	26,97	-	2,50	-	9,10	-	-	-	-	-	-	13,85	17,98	-

**Valores de Referencia para uso suelo industrial:**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
VR <sub>no</sub> cancerígeno	9,99	-	32,05	121,01	4,99	333,84	17,73	124	-	108,25	61.877,63	1.269,90	0,15	27,68	-	147,29
VR <sub>c</sub> cancerígeno	-	-	16,58	-	2,50	-	9,10	-	-	-	-	-	-	13,85	17,98	-

**Valores de Referencia para uso suelo agrícola:**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Sr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	V
VR <sub>no</sub> cancerígeno	9,64	-	3,28	109,22	1,46	160,24	3,68	56	-	77,11	11.334,77	0,00	0,08	24,33	-	58,63
VR <sub>c</sub> cancerígeno	-	-	-	-	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,00	-

Como puede observarse, si solo se consideran los Valores de Alerta, se tendrían valores muy altos y claramente no representarían la situación local de la comuna de Huasco, pues equivalen a valores estándar. Para que incorporen la realidad nacional, las autoridades deben definir factores de exposición para niños y adultos.

Asimismo, para regular estos valores y obtener valores de referencia nacionales, se debe incorporar el background, el cuál representa la condición natural del suelo de la provincia de Huasco. De acuerdo a esto, se considera la propuesta de PGS Chile (2016), donde relaciona los VA con los BKG, para metales con efecto cancerígenos y no cancerígenos.

Es importante señalar, que los valores de referencia tanto de la opción 1 y 2 corresponden a una propuesta, lo cual indica que antes de utilizarlos en estudios o análisis posteriores, deben validarse los métodos, los supuestos y la definición de factores de exposición.

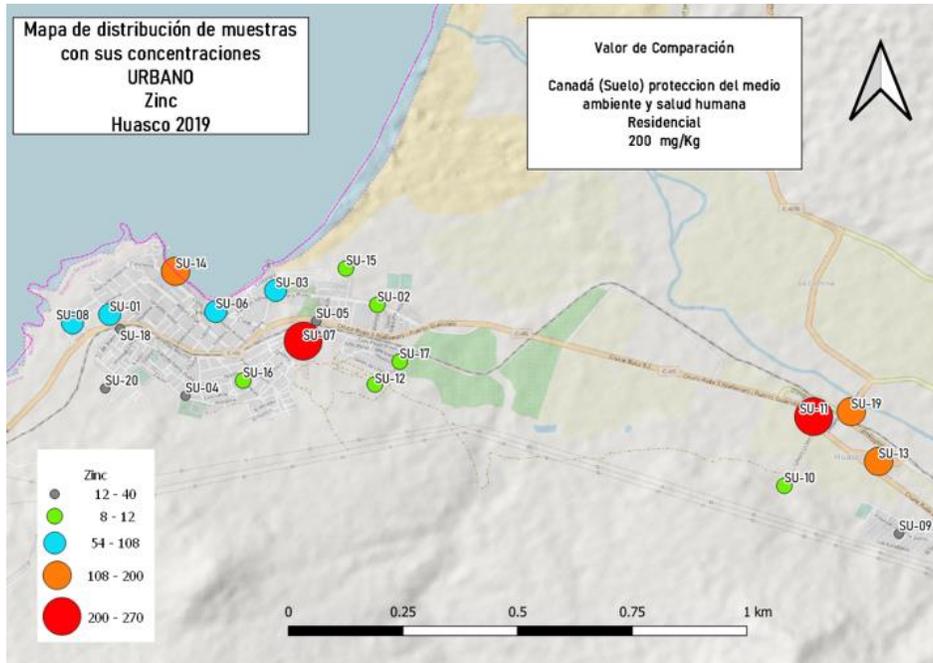
#### 9.4.3 ELABORAR REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS DE LA COMPARACIÓN REALIZADA

Para cada uso de suelo, se elaboraron representaciones cartográficas de la comparación realizada con los valores de comparación, presentando la información en formato shapefile para ArcGis, los cuales se presentan a continuación. Se muestran los elementos que presentaron alguna superación respecto al valor de comparación escogido, y que se presenta en cada mapa. Esta superación, se presenta en color rojo.

En ANEXO 15, se presenta la información en formato digital y en pdf.

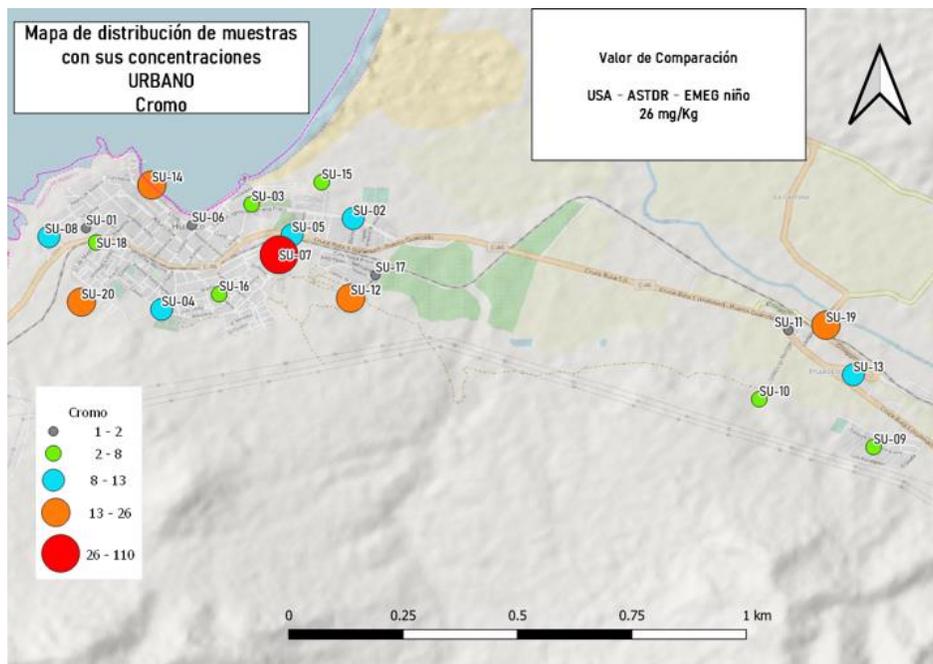
**Uso suelo urbano/residencial:**

Figura 63. Mapa de distribución de concentraciones de Zn



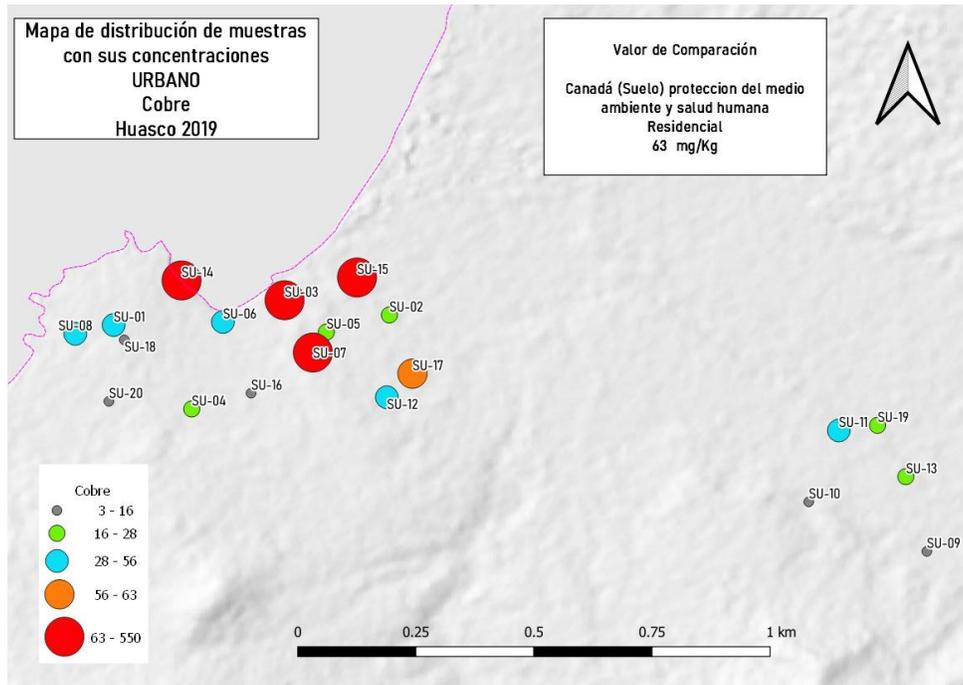
Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Mapa de distribución de concentraciones de Cr



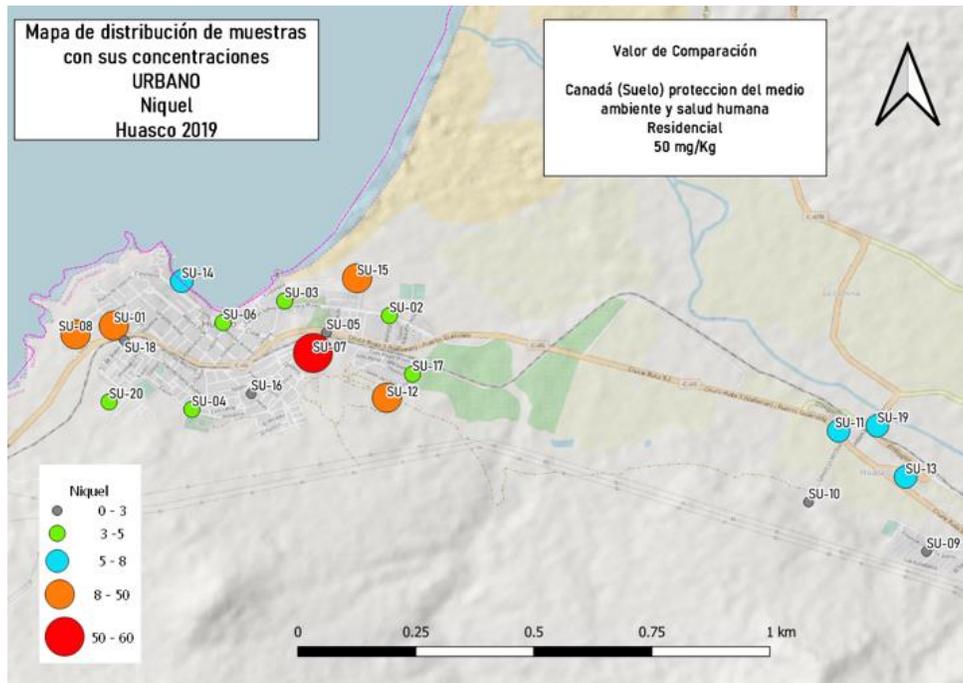
Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Mapa de distribución de concentraciones de Cu



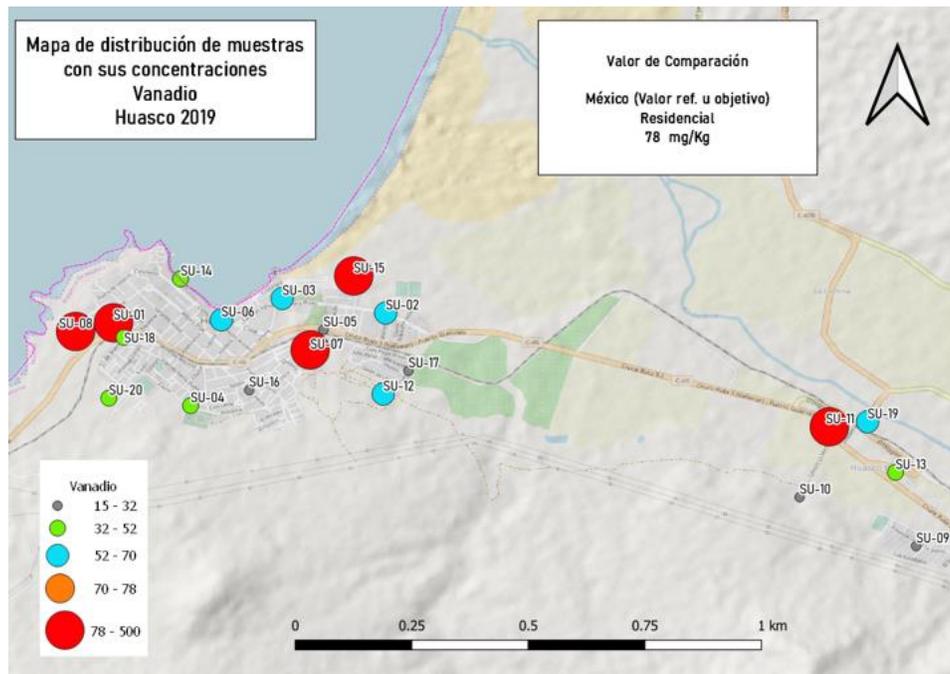
Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Mapa de distribución de concentraciones de Ni



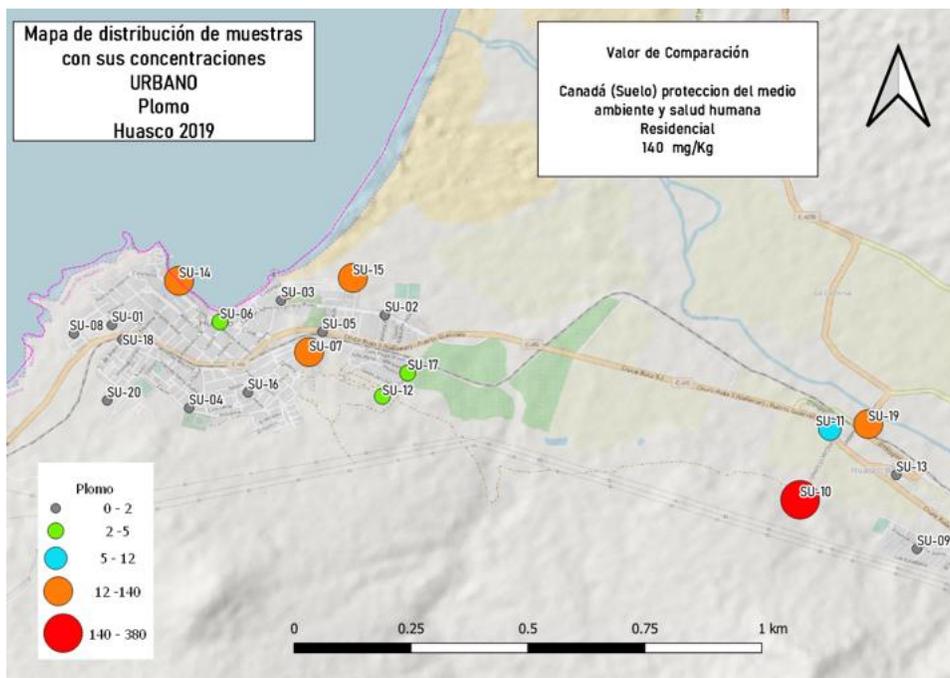
Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Mapa de distribución de concentraciones de V



Fuente: Elaboración propia

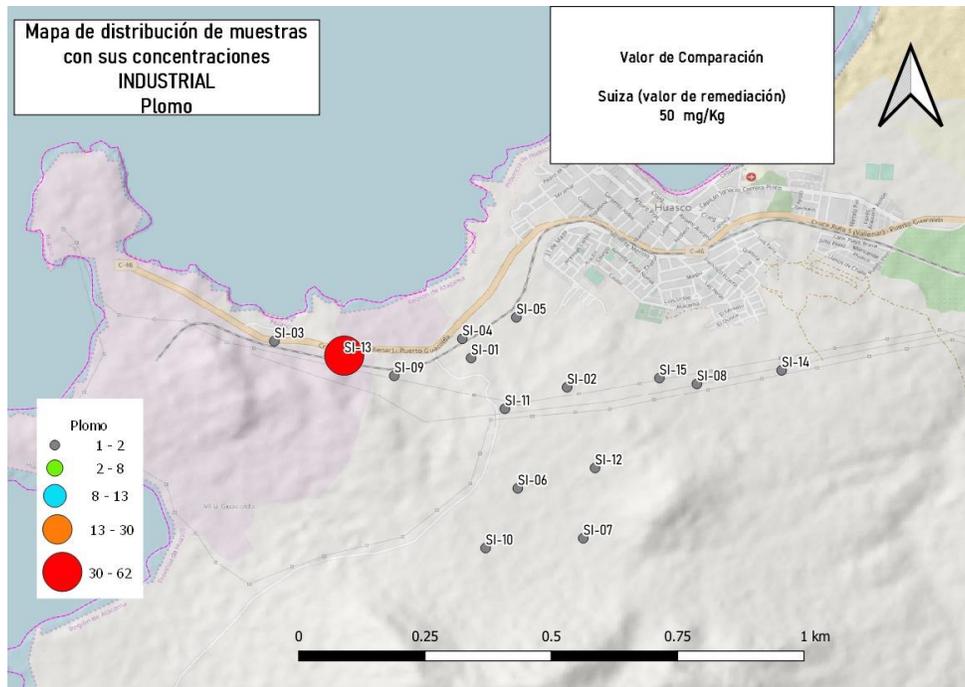
Figura 68. Mapa de distribución de concentraciones de Pb



Fuente: Elaboración propia

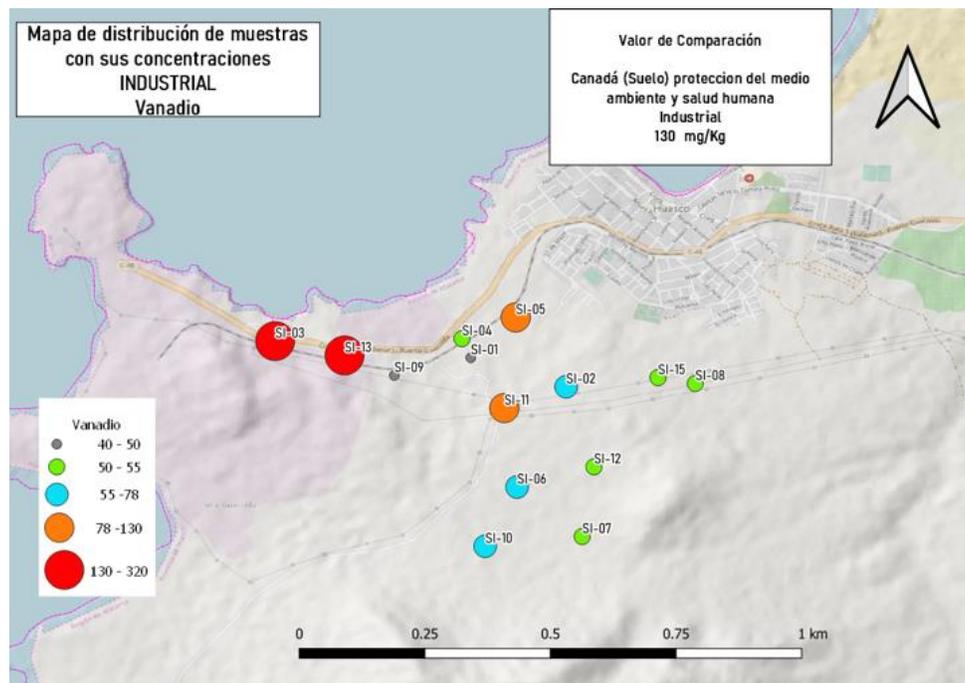
**Uso suelo industrial:**

Figura 69. Mapa de distribución de concentraciones de Pb



Fuente: Elaboración propia

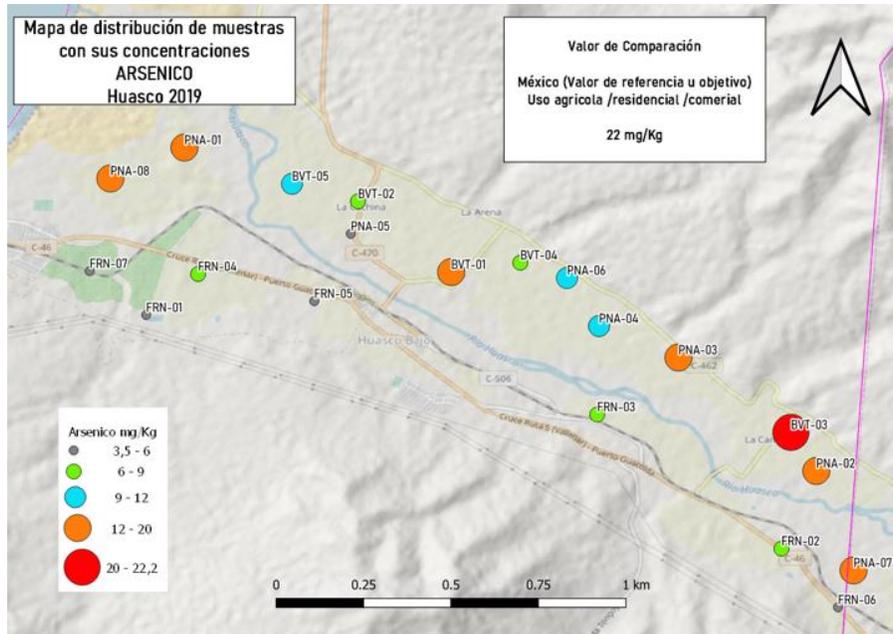
Figura 70. Mapa de distribución de concentraciones de V



Fuente: Elaboración propia

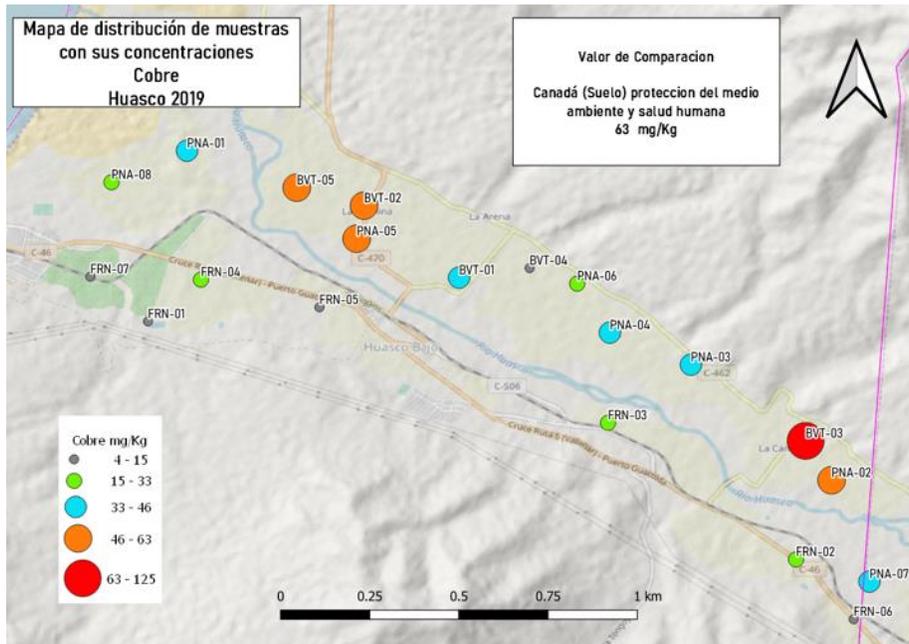
**Uso suelo agrícola:**

Figura 71. Mapa de distribución de concentraciones de As



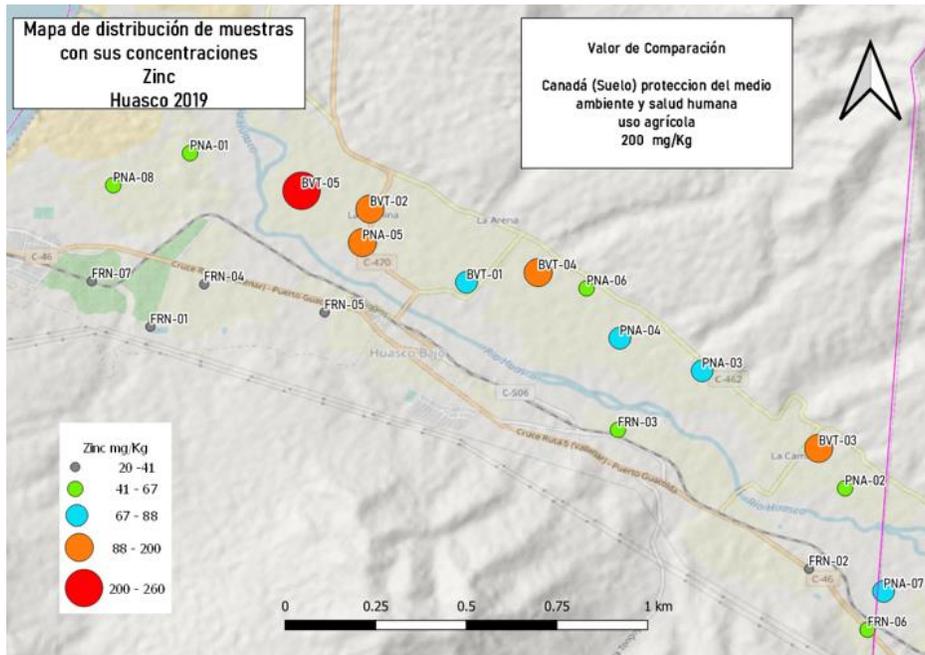
Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Mapa de distribución de concentraciones de Cu



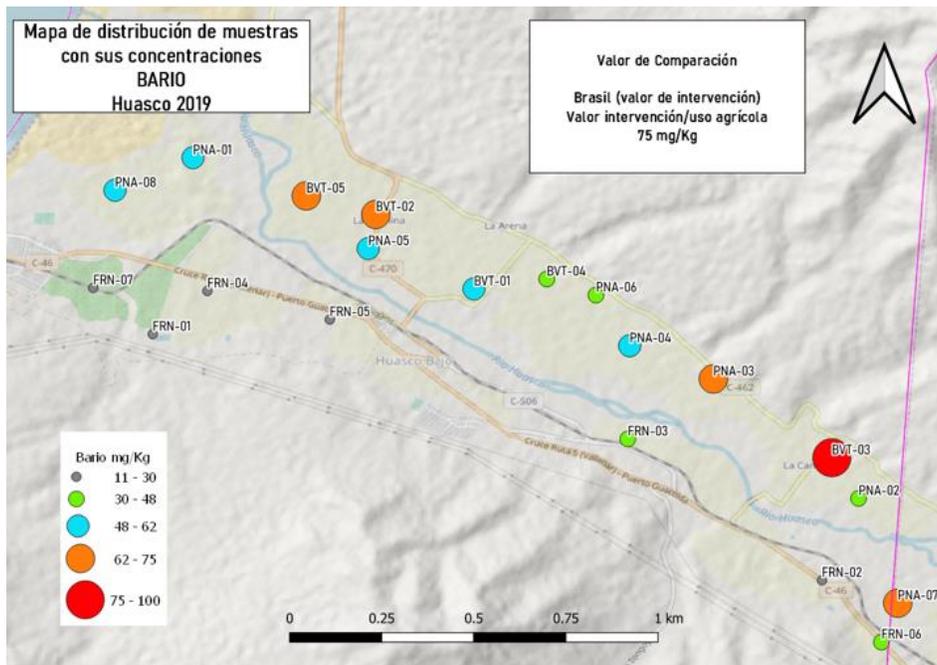
Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Mapa de distribución de concentraciones de Zn



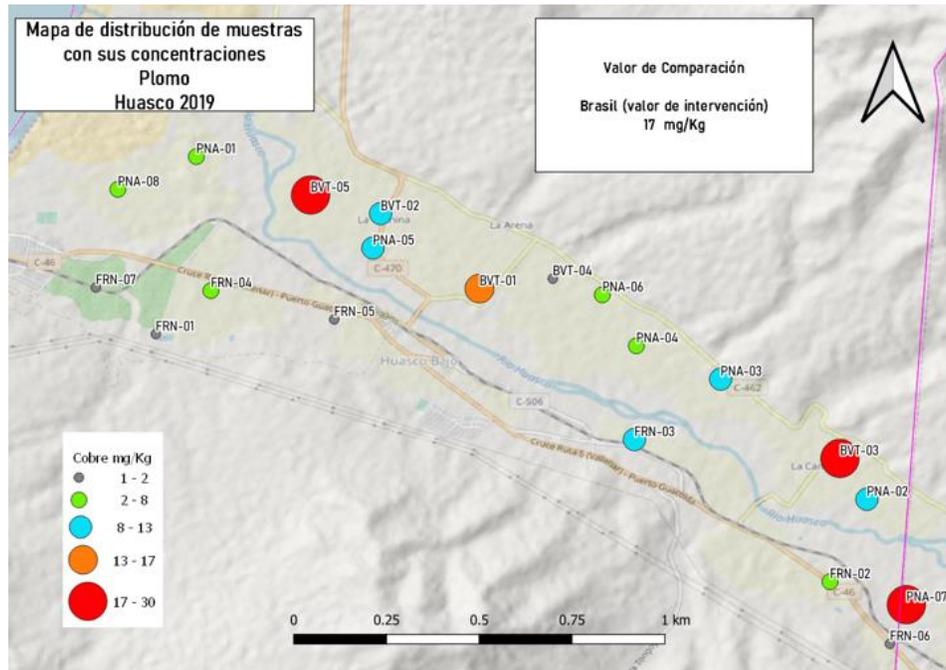
Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Mapa de distribución de concentraciones de Ba



Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Mapa de distribución de concentraciones de Pb



Fuente: Elaboración propia

## 9.5 ACTIVIDAD 5. DIFUNDIR LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO

### 9.5.1 CONSOLIDAR LOS ANTECEDENTES GENERADOS

Todos los antecedentes generados en el marco de esta consultoría, así como el material cartográfico de sarrollado, son parte de este Informe Final.

### 9.5.2 EDITAR UN DOCUMENTO RESUMEN

En ANEXO 17 se presenta documento resumen revisado y aprobado por la contraparte técnica. Se editarán e imprimirán 100 copias de este documento.

### 9.5.3 EFECTUAR UNA PRESENTACIÓN FINAL

El día 12 de diciembre, se efectuó la presentación de los resultados finales del estudio y su respectivo análisis. La contraparte técnica del estudio convocó actores de todos los

sectores, incluyendo a los integrantes del CRAS de Huasco. La reunión se realizó en la comuna de Huasco. En ANEXO 18, se presenta el listado de los participantes y la presentación que se realizó.

## 9.6 CONCLUSIONES

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos de las actividades precedentes, se concluye que para el caso de las muestras tomadas en la zona urbana, considerando el valor promedio UCL 95, y comparando con valores de referencia internacional, solo se superarían levemente los elementos Cu, Cr y V. Particularmente para el cobre, donde el UCL 95 corresponde a 178,3 [mg/kg], se consideró el valor de comparación más estricto que estuviera sobre el background escogido, que corresponde a Canadá, y cuyo valor es de 63 [mg/kg]. Es importante señalar, que este elemento es abundante en forma natural en el país, por lo tanto, si consideramos el valor de USA, que corresponde a 310 [mg/kg], no se superaría este elemento.

Para el caso del Cromo, cuya concentración UCL 95 corresponde a 37,2 [mg/kg], se consideró el valor EMEG para niños que es un valor muy conservador, y no considera las realidades locales del territorio que se estudia. El EMEG es la concentración de un contaminante en el agua, el suelo o el aire, que es poco probable esté asociada con cualquier riesgo apreciable de efectos no cancerosos, durante una duración de exposición determinada. La EMEG se deriva usando los niveles de riesgo mínimo de la ATSDR, tomando en cuenta pesos corporales y tasas de ingesta, ambos por defecto. Si se considera el valor de comparación internacional más estricto para este metal, que en este caso sería Australia, su valor correspondería a 100 [mg/kg], lo que indicaría que no habría superación.

Finalmente para el elemento vanadio, la concentración UCL 95 corresponde a 115,7 [mg/kg]. Si se compara con México que sería el valor de comparación más estricto, se superaría, pero si se considera el valor de Canadá (130 [mg/kg]) no habría superación.

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que para los suelos de uso urbano las concentraciones de metales en el suelo, no representarían una fuente de riesgo para la comunidad de Huasco.

Respecto al uso de suelo industrial, se utilizaron otros valores internacionales de comparación, para lo cual la situación sería la siguiente:

Al utilizar el UCL 95, solo el elemento vanadio (164 [mg/kg]) superaría la norma canadiense que corresponde a 130 [mg/kg]. Si se considera el valor de comparación que sigue, que corresponde a Holanda 250 [mg/kg], el valor no se superaría. De acuerdo a este resultado, y considerando que el resto de los elementos no son superados, se puede concluir que para los suelos de uso industrial las concentraciones de metales en el suelo, no representarían una fuente de riesgo para la comunidad de Huasco.

Respecto al uso de suelo agrícola, al utilizar el UCL 95, ningún elemento supera los valores de comparación internacional.

Lo señalado anteriormente para cada uso de suelo, no indicaría que la comuna no está contaminada, sino que la matriz suelo que es el foco de estudio de esta consultoría, no significaría en estos momentos, una fuente de riesgo para la población ni para los cultivos existentes en la comuna.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

1. ATSDR E1527 – 13. Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process.
2. ATSDR E1903 – 11. Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process.
3. CADE-IDEPE (2004). Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad.
4. CENMA (2017). Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación.
5. Centro Regional de Investigación INIA - La Platina. (2002). “Tecnologías y Prácticas en el Manejo de los Recursos Naturales para la Recuperación de los Suelos Degradados”. pp 33-34;134
6. Comisión Nacional de Riego (1985). Estudio Integral de Riego del Valle de Huasco. Informe Final
7. Comisión Nacional de Riego/CICA (2002). Estudio y propuestas de recuperación de suelos con mal drenaje en el sector bajo del Huasco
8. DICTUC y Facultad de Agronomía, PUC, (2012). Proyecto FIC: 33-01-773: Estudio Para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco. Informe Final
9. DICTUC y Facultad de Agronomía, PUC, (2013). Proyecto FIC: 33-01-214: Estudio Para Evaluar el Impacto de la Contaminación Atmosférica, II Temporada, y Prospección de las Condiciones Edáficas Sobre el Rubro Olivícola, Sector Costero Valle del Huasco. Informe Final
10. EPA (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1 - Human Health Evaluation Manual, Part A – Baseline Risk Assessment
11. EPA 600/8-89/046, 1989. Soil Sampling Quality Assurance User’s Guide, Second Edition. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
12. EPA/600/SR-927128, 1992. Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies. United States Environmental Protection Agency.
13. EPA/540/R95/128, 1996. Soil Screening guidance: Technical Background Document, United States Environmental Protection Agency.

14. EPA, 9355.4-23, 1996. Soil Screening guidance: User's Guide, United States Environmental Protection Agency.
15. EPA, 2001. Laboratory Documentation Required For Data Evaluation. Quality Assurance Office. San Francisco, California.
16. EPA 120/R-07/001, 2007. Framework for Metals Risk Assessment
17. EPA 2014. US New Jersey Department of Environmental Protection, Site Remediation Program. Data Quality Assessment And Data Usability Evaluation Technical Guidance.
18. Fuentes, E. (2012). "Evolución de los niveles de fertilidad y acidez en los suelos de la zona sur de Chile durante un período de 12 años". Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
19. Garrido, M. (1993). "Interpretación de Análisis de Suelos". Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Secretaria General de Estructuras Agrarias. España.
20. Honorato, R., Barrales, L., Silva, H., Saavedra, N. Relación entre el Cobre extraído con EDTA y DTPA en suelos desde la IV a la X región de Chile con y sin Antecedentes de Contaminación. R.C. Suelo Nutr. Veg. 1 (2) 2001 (70-76).
21. IASA (20011). Preparación de Antecedentes para la Elaboración de la Norma de Calidad Primaria de Suelos. Informe Final.
22. IHOBE, 1998. Investigación de la Contaminación del Suelo - Guía Metodológica: Estudio Histórico y Diseño de Muestreo.
23. Ilustre Municipalidad de Huasco (2018). Plan de Desarrollo Comunal 2019-2022.
24. Lutgers, A., Lea J. (2000). "Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo" del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Versión Traducida al Español por el Área de Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras, del Instituto de Suelos CRN – CNIA – INTA. Argentina.
25. MMA (2010). Antecedentes previos al Plan de Descontaminación de la Localidad de Huasco y su Zona Circundante
26. MMA/Fundación Chile (2017). Programa de Recuperación Ambiental y Social. Comuna de Huasco
27. MMA (2013). Guía metodología para la gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes.
28. MMA (2013). Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes.

29. MMA/IDEAMBIENTE (2017). Identificación de fuentes contaminantes y caracterización de suelos en la comuna de Coronel
30. Normas chilenas de calidad de suelos
31. NCh 2297: Calidad del suelo - Vocabulario
32. NCh 3400/1: Calidad del suelo - Directrices para el diseño de programas de muestreo
33. NCh 3400/2: Calidad del suelo - Directrices sobre técnicas de muestreo
34. NCh 3400/3: Calidad del suelo - Directrices de seguridad
35. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2000). "Los Fertilizantes y su Uso".
36. Paneque, V., Calaña, J., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T., Caruncho, M. (2010). "Manual de Técnicas Analíticas para Análisis de Suelo, Foliar, Abonos Orgánicos y Fertilizantes Químicos". Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. La Habana, Cuba.
37. PGS Chile (2016). Análisis Técnico para suelos con presencia de metales pesados. Informe Final.
38. Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (2019). Recuperado de <https://datosretc.mma.gob.cl/group>
39. SEA (2012). Guía de evaluación de impacto ambiental - Riesgo para la salud de la población en el SEIA.
40. Segovia, M. (2014). Bioaccesibilidad y Biodisponibilidad de Elementos Traza en Suelos Contaminados y Plantas. Tesis para optar al grado de Magister en Química. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
41. SERNAGEOMIN (2004). Mapa Geológico del Cuadrángulo Huasco, Región de Atacama, escala 1:50.000
42. SERNAGEOMIN (2006). Geología del Area Freirina-El Morado, Region de Atacama, escala 1:100.000
43. SERNAGEOMIN (2008). Geología del Area Carrizal Bajo – Chacritas, Región de Atacama, escala 1:100.000
44. SERNAGEOMIN (2009). Geología del Area Vallenar-Domeyko, Región de Atacama, escala 1:100.000

45. SMA (2016). Informe de Fiscalización Ambiental SMA. examen de Informaci<sup>v</sup>n. CAP Planta Pellets (DFZ-2016-2829-III-RCA-EI).
46. Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA) (2019). Recuperado de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/>
47. Sistema de Estudio de Impacto ambiental (2019). Recuperado de <http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>

## **11 ANEXOS**

- 11.1 ANEXO 1: MINUTA Y PPT DE LA REUNIÓN DE INICIO (DIGITAL)**
- 11.2 ANEXO 2: REPORTE EMISIONES DE FUENTES PUNTUALES (DIGITAL)**
- 11.3 ANEXO 3: REPORTE EMISIONES DE FUENTES DIFUSAS (DIGITAL)**
- 11.4 ANEXO 4: REPORTE EMISIONES DE TRANSPORTE (DIGITAL)**
- 11.5 ANEXO 5: REPORTE RESIDUOS NO PELIGROSOS (DIGITAL)**
- 11.6 ANEXO 6: REPORTE RESIDUOS PELIGROSOS (DIGITAL)**
- 11.7 ANEXO 7: LISTADO COMPLETO DE PROYECTO SEIA (DIGITAL)**
- 11.8 ANEXO 8: PLAN DE MUESTREO (DIGITAL)**
- 11.9 ANEXO 9: FICHAS DE TERRENO Y FOTOGRAFÍAS (DIGITAL)**
- 11.10 ANEXO 10: INFORME BIODISPONIBILIDAD (DIGITAL)**
- 11.11 ANEXO 11: INFORME SGS CON ANÁLISIS ORIGINAL DE MUESTRAS Y ANÁLISIS IDEAMBIENTE (DIGITAL)**
- 11.12 ANEXO 12: INFORME AGROLAB (DIGITAL)**
- 11.13 ANEXO 13: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS MUESTRAS (DIGITAL)**
- 11.14 ANEXO 14: PRESENTACIÓN RESULTADOS SEGUNDO INFORME DE AVANCE (DIGITAL)**
- 11.15 ANEXO 15: REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE LAS COMPARACIONES CON VALORES DE REFERENCIA (DIGITAL)**
- 11.16 ANEXO 16: CÁLCULO DE VALORES DE ALERTA (DIGITAL)**
- 11.17 ANEXO 17: RESUMEN DE INFORMACIÓN PROYECTO (DIGITAL)**
- 11.18 ANEXO 18: PRESENTACIÓN RESULTADOS INFORME FINAL (DIGITAL)**