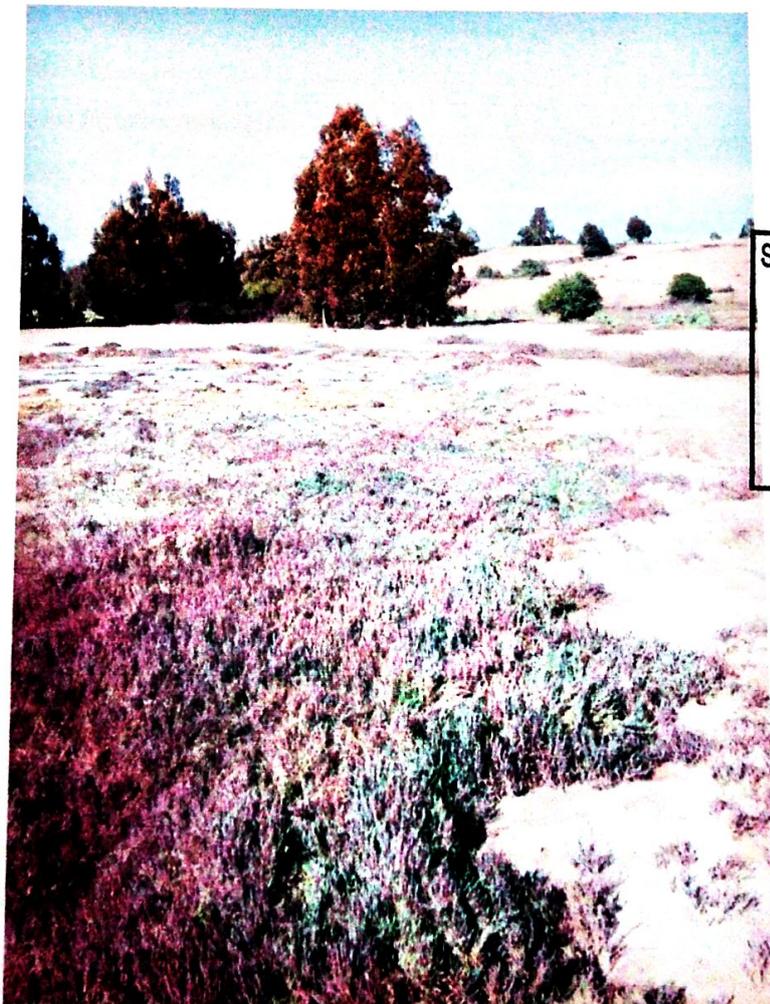


MINERA MONTECARMELO S.A.

Informe Técnico y Plan de Recuperación de Suelo

Fitorremediación en el Sector de Los Maitenes,
Comuna de Puchuncaví

En cumplimiento a la sentencia D-32-2016, del 14 de mayo de 2019,
del Segundo Tribunal Ambiental



SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE
V VALPARAISO
17 SEP 2019
OFICINA DE PARTES
RECIBIDO

Estefanía Naeter Quiroz, Técnico en Geología, DUOC UC.

Andrés Núñez Triviño, Técnico en Geología, DUOC UC.

ÍNDICE

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
II.	ANTECEDENTES DE LA ZONA A INTERVENIR.....	4
	A. Ubicación.....	4
	B. Caracterización del suelo.....	6
	C. Geomorfología.....	9
	D. Calidad del agua.....	11
	E. Vegetación.....	13
III.	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO AMBIENTAL.....	16
	A. Inspecciones y análisis de la situación.....	17
IV.	FITORREMEDIACIÓN.....	25
	A. El Concepto de Fitorremediación.....	25
	B. Fitoextracción.....	25
V.	ESPECIES SELECCIONADAS PARA FITOEXTRACCIÓN.....	28
	A. Lolium Perenne (Ballica).....	28
	B. Salicornia Neei.....	30
	C. Uso de Salicornia Neei en proyectos actuales de fitorremediación en la comuna de Puchuncaví.....	32
VI.	OBJETIVOS DEL PLAN DE REPARACIÓN.....	34
VII.	MEDIDAS DE RECUPERACIÓN.....	36
	A. Primer objetivo específico.....	36
	B. Segundo objetivo específico.....	37
	C. Tercer objetivo específico.....	39
VIII.	CRONOGRAMA.....	41
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	44
X.	INFORMACIÓN DE LOS AUTORES.....	46
XI.	ANEXOS.....	47

I. INTRODUCCIÓN

El presente plan de recuperación es presentado por Sociedad Minera Montecarmelo, representada legalmente por el señor Felipe Boisier Troncoso. Este plan es elaborado en cumplimiento de la resolución del Tribunal Ambiental de Santiago, en respuesta a la demanda interpuesta a la minera por don Luis Cantellano Ampuero y don Vladimir Mondaca Díaz, en representación de don Manuel Vega Puelles y don Benito Fernández Cisternas.

Dicha sentencia ordena que la demandada debe hacerse cargo de restaurar el daño ambiental al que se vieron afectados los predios de los demandantes, tras depositarse sedimentos contaminados, por la actividad industrial de la zona, en una quebrada que pasa por dichos sitios luego de las intensas lluvias que acaecieron en junio de 2016, después de años de sequía, donde la polución del complejo industrial Ventanas se fue acumulando en la cuenca hidrográfica, que abastece la mencionada quebrada.

Ahora bien, la autoridad judicial determinó que la forma de remediar el daño causado, debe ser la a través de la fitorremediación, por considerarlo un método eficaz y poco invasivo.

A grandes rasgos, la fitorremediación consiste en aprovechar la capacidad de ciertas especies vegetales para extraer del suelo determinados elementos, que son utilizados en sus procesos metabólicos, pero que, sin embargo, son nocivos para el ser humano y el medio ambiente, cuando alcanzan las altas concentraciones que derivan de la actividad minera e industrial.

Para la elaboración de este plan de recuperación, se realizó un estudio minucioso acerca del área afectada, así como las concentraciones de los contaminantes, de acuerdo a los factores de pendiente y características físicas del suelo, entre otros, para establecer el daño real e impacto causado en la flora y fauna del lugar. Estos estudios incluyen análisis geoespacial del área afectada, muestreo directo de suelo, y agua para la determinación de parámetros físicos y químicos, además de la revisión y análisis de literatura de carácter científico, para la selección de las especies más adecuadas para la Fitoextracción.

La presentación de este plan de recuperación comenzará por exponer los antecedentes que justifican los objetivos y medidas que se propondrán más adelante. Tales antecedentes incluyen una descripción del sector en cuanto a la delimitación del área a remediar y su ubicación, sus características geomorfológicas y de suelo. De igual manera se exhibirán datos actualizados

sobre el daño causado, obtenidos tras un muestreo de elaboración propia y posterior envío a un laboratorio certificado. A continuación, se presentará una breve explicación sobre la Fitorremediación, a fin de introducir al lector en dicha metodología, que constituirá el eje principal de las medidas de reparación y contención propuestas, así como de las características de las especies vegetales que se utilizarán.

Posteriormente, se puntualizarán los objetivos que guiarán el Plan de Recuperación, para después exponer en detalle cuáles serán las medidas que decantarán en la consecución de dichos objetivos, incluyendo la forma y lugar en que se llevarán a cabo.

Tras esto, se establecerá un programa de seguimiento para cada uno de los objetivos y medidas a realizar, con sus respectivos indicadores de logro.

Finalmente, se sintetizará el cronograma para cada una de las medidas a implementar, así como para el mencionado programa de seguimiento.

II. ANTECEDENTES DE LA ZONA A INTERVENIR

A. Ubicación

El suelo de estudio para Fitorremediación se ubica en la localidad de Los Maitenes ($32^{\circ}76' \text{ LS}$ y $71^{\circ}45' \text{ LW}$), en la comuna de Puchuncaví, a 2 Kms. aproximadamente del parque industrial Las Ventanas, en la Región de Valparaíso.

Esta zona ha sido declarada como zona de sacrificio, siendo Los Maitenes el lugar más afectado, dado las condiciones climáticas de dirección del viento, las cuales depositan las emisiones contaminantes de la planta de función Codelco, retenidas por la Cuenca Puchuncaví.



Imágenes 1 y 2: Mapa de ubicación de la zona de estudio. La estrella indica el sector de Los Maitenes, en donde se implementará el Plan de Recuperación de Suelo Contaminado. Nótese la cercanía del Complejo Industrial Las ventanas, a la izquierda en la imagen inferior.



B. Caracterización del suelo

1. Concepto Suelo

El suelo es un medio complejo, heterogéneo, compuesto por minerales, materia orgánica y componentes gaseosos y acuosos, que interactúan entre sí; es un sistema dinámico, en el que participan condiciones de acides (pH), minerales arcillosos, óxido-reducción y materia orgánica, entre otros.

2. Determinación de tipo de suelo

Para establecer las características principales del suelo que posteriormente será cultivado, se extrajeron muestras de distintos puntos dependiendo de la exposición al derrame, a las cuales se solicitó al laboratorio de suelos agrícolas AgroLab se le realizaran ensayos físicos, químicos y de fertilidad.

Los resultados del análisis de suelo para determinar parámetros de referencia, realizado en el área de estudio (sectores 2, 4, 6 y 7), determinan que éste presenta alta toxicidad por cobre (Tabla 1); su textura es franco arenoso con tendencia a arcillosa (Figura 1), lo cual implica mínima retención de humedad, pérdida de nutrientes por lixiviación y susceptibilidad a la compactación, lo que impide una adecuada oxigenación del suelo, así como escasez de nutrientes esenciales, puesto que prácticamente carece de materia orgánica y manifiesta nula actividad biótica edáfica, además de un pH ácido (Anexo de análisis de fertilidad). Por todo lo anterior, se concluye que la condición general del suelo es muy pobre y no apta para cultivos.

Elementos Totales	Sector 2	Sector 4	Sector 6	Sector 7	Norma Canadiense
Zinc (Zn) mg/kg	53	50	55	50	250
Cobre (Cu) mg/kg	317	184	311	387	63
Arsénico (As) mg/kg	3,46	3,4	4,1	3,48	12
Cadmio (Cd) mg/kg	0,240	0,028	0,508	0,000	1,4
Plomo (Pb) mg/kg	48,7	24,8	52,8	46,2	70

Tabla 1: Análisis químico de suelo. Resultados de muestras tomadas en suelo cercano a la zona afectada, para establecer valores background.

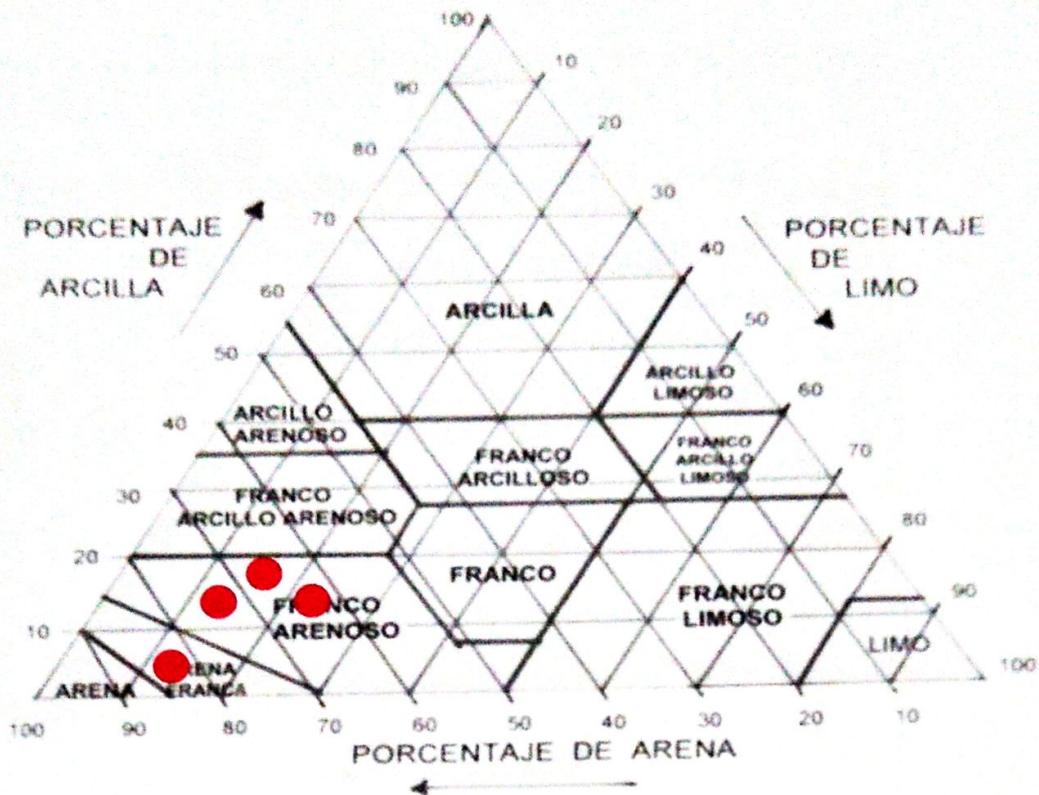


Figura 1: Triángulo textural del suelo. Los puntos rojos indican el tipo textural de las muestras de suelo analizadas.

Estas características generales son consecuencia de diversos aspectos naturales e impacto antrópico del lugar. La condición natural del área de estudio se identifica como vega densa árida; la infertilidad del suelo y acidez, son producto de más de cinco décadas de lluvia ácida producida por la fundición de cobre Codelco Ventanas (Ginocchio, 2000).; la erosión y empobrecimiento del suelo (Imagen 4) son el resultado de la sobreexplotación por mal manejo de pastoreo y de cultivos (Contreras, De Kartzow, Figueroa, Negrete, 2015), (imagen 5), y la desatada presencia de cárcavas (imagen 3) asociadas a la geomorfología, resultan en el background actual de condición del suelo del sector de Los Maitenes.



Imagen 3: Cárcavas aledañas.



Imagen 4: Erosión del suelo.



Imagen 5: Sobrexplotación por actividad ganadera.

C. Geomorfología

La formación geológica correspondiente al sector de estudio se denomina Formación Horcón, compuesta de Secuencias Sedimentarias de la época Mioceno Superior-Plioceno, de la era Cenozoica, periodo Neogeno; y Secuencias Sedimentarias del Holoceno Cuaternario, compuestas por gravas, arenas y limos, transportadas por fuertes lluvias (depósitos aluvio-coluviales), que provienen de la erosión de laderas (Mapa geológico, Figura 2).

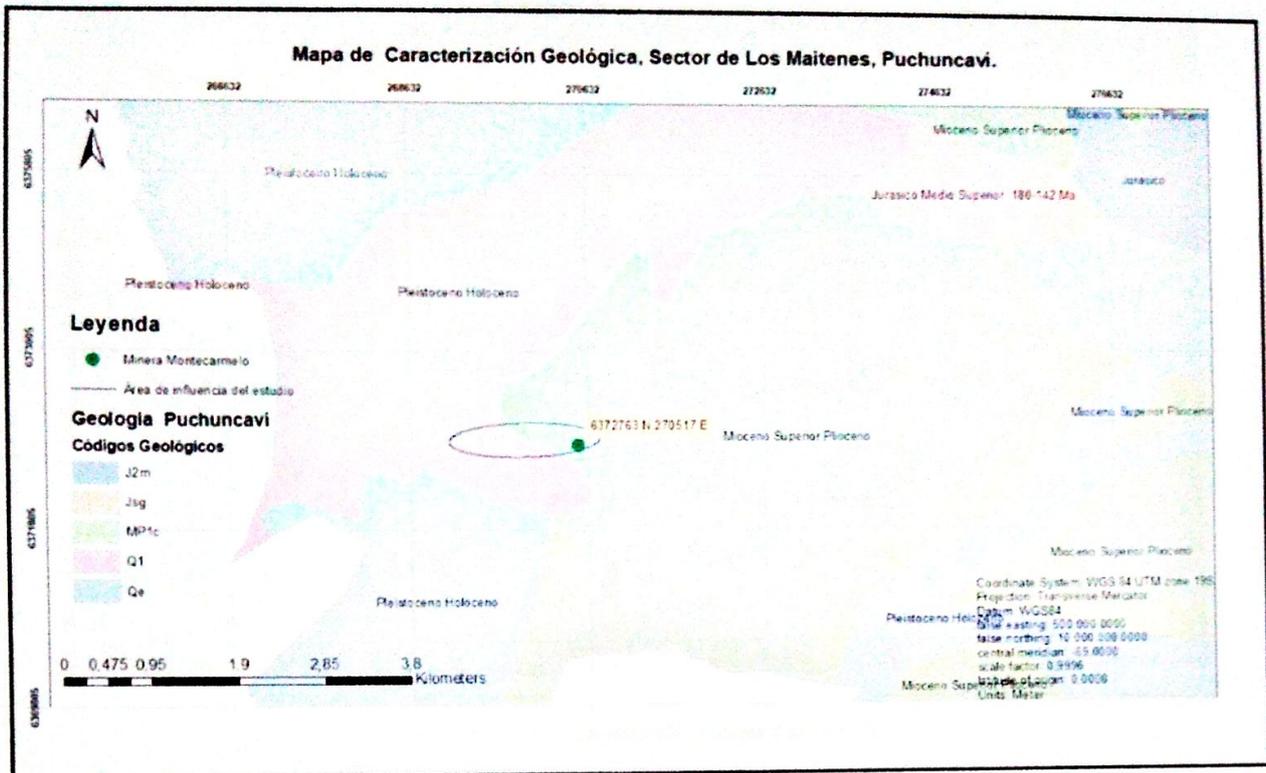


Figura 2: Mapa de elaboración propia, con data del SERNAGEOMIN.

Estas formaciones se asocian a cuencas costeras, representado por una serie de pequeñas quebradas cuyas aguas descienden desde las laderas occidentales de la Cordillera de la Costa y drenan hacia el oeste. Las quebradas características del lugar se originan por ello. De este modo a causa de la esorrentía, afloran fósiles de cetáceos, los cuales se aprecian a simple vista (Imágenes 6 y 7), en la misma quebrada que se vio afectada por la deposición de sedimentos contaminados. En esta quebrada se pueden apreciar el perfil y estratos de sedimentos marinos denominados paleodunas. (Rivano et al., 1993).



Imágenes 6 y 7: Quebrada y fósiles de ballena.

D. Calidad del agua

La baja permeabilidad, característica de las condiciones señaladas anteriormente, explican la existencia del humedal Salino Los Maitenes, perteneciente a la red de vegas de la Cuenca Estero de Puchuncaví, el cual se alimenta exclusivamente de las lluvias invernales. Este humedal es hábitat de diversas especies de aves, flora y fauna nativa.

El humedal se encuentra a una distancia considerable de la quebrada, por lo que no se considera como parte de la afectación (Anexo mapa ubicación Humedal).

En el punto medio de la quebrada, correspondiente al área de influencia de la contaminación, por deposición de sedimentos ricos en metales pesados y metaloides, existe un pozo profundo (30mts) para extracción de agua subterránea (ubicación coordenadas 270053 E – 6372926 N).

Dado lo anterior, se tomó una muestra de agua del pozo (Imagen 8), siguiendo la metodología de la norma chilena NCh 409/2, para su posterior análisis de metales totales, con la finalidad de verificar si la napa de agua de agua estaba contaminada.

Los resultados expresados en la tabla 1 indicaron que en el agua no se encuentran altas concentraciones de metales, todos los valores son inferiores a la Norma de Interpretación para Riego NCh 1333. Por consiguiente, el agua de este pozo es apta para consumo humano, animal y riego.

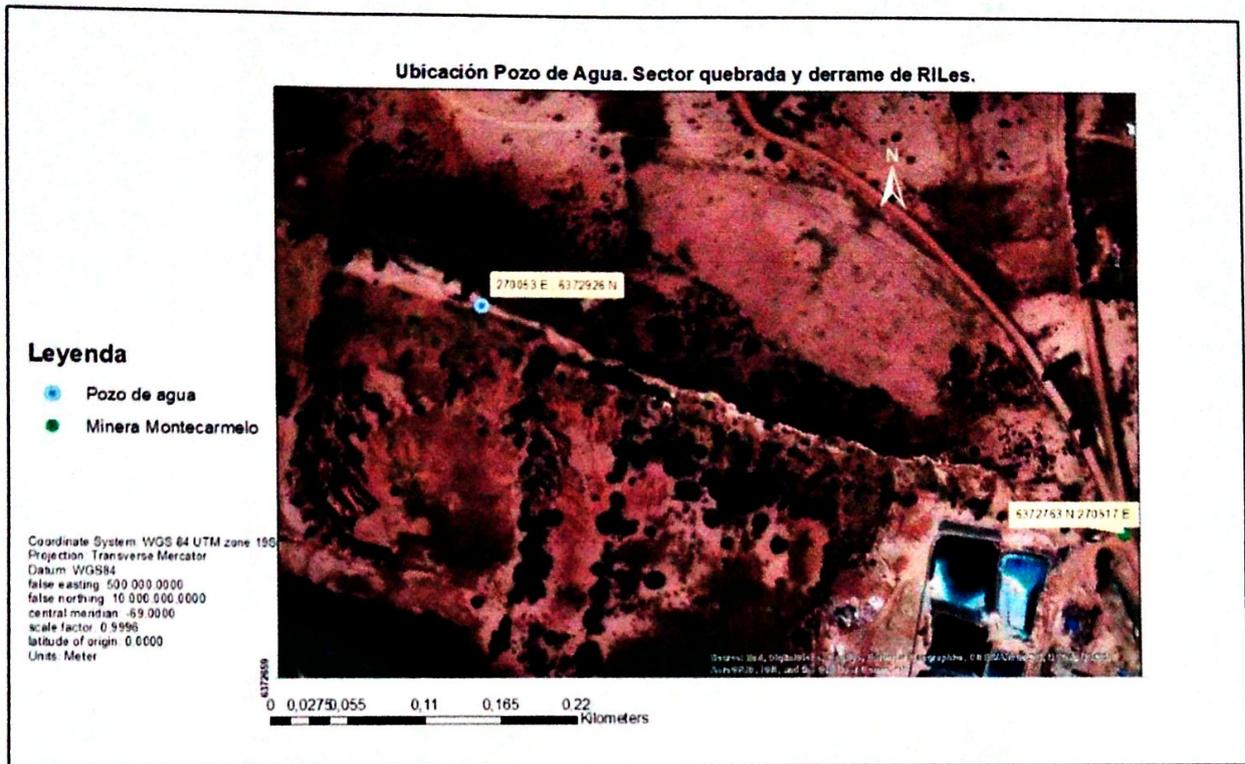


Imagen 8: Ubicación del pozo de agua.

Determinaciones	Valor	Límite máximo NCh 1333.
pH	7,54	5,5 – 9,0
Sulfato (SO ₄) mg/l	144	250
Arsénico (As) mg/l	0,02	0,10
Cadmio (Cd) mg/l	0,01	0,01
Cobre (Cu) mg/l	0,02	0,20
Plomo (Pb) mg/l	0,08	5,00
Zinc (Zn) mg/l	1,5	2,00

Tabla 2: Resultado de análisis químico hecho al pozo profundo.



Imagen 9: Pozo profundo durante la toma de muestra de agua.

E. Vegetación

El inventario florístico levantado por la Universidad de Playa Ancha, en conjunto con la Universidad Católica de Valparaíso, en el sector del Humedal de Los Maitenes, ha identificado las especies vegetativas presentes en el sector de La Vega de Los Maitenes, siendo un total aproximado de 150 especímenes. Éstas fueron sectorizadas según el tamaño de las colonias en las praderas, identificando las especies dominantes por comunidad. Al revisar este inventario en busca de especies nativas con potencial fitoextractor, nos encontramos con la especie *Salicornia Neei*, la cual es colonizadora espontánea del sector afecto a remediación.

El estudio categoriza esta especie como *Salicornia Neei*, del orden Caryophyllales, de la familia Chenopodiaceae, de tipo Nativo, Subarbusto y Caméfito/Helófito. Crece en la pradera halofítica (salina), de cobertura de hasta un 100% y no supera los 50 cms. de alto.

Salicornia Neei es una especie nativa que se distribuye en suelos salinos a lo largo de la costa Pacífica de Sudamérica (Perú y Chile). También presente en salinas de Argentina (Alonso & Crespo, 2008).

Reúne las condiciones de planta acumuladora de metales pesados, es nativa del sector y resiste la salinidad del suelo al ser una especie halófito. No es apetecida por los animales de pastoreo presentes en el sector y no es susceptible a plagas de roedores.

Otras especies Fitorremediadoras, que crecen cerca de este sector y que fueron parte de estudios experimentales de Fitorremediación, en las localidades afectas al complejo industrial ventanas, fueron blanco directo de conejos y ratones, los cuales llevaron al fracaso los procesos de recuperación de los suelos. Especies introducidas desde otros ecosistemas no lograron adaptarse a las características del suelo, y, por último, otras especies no son acumuladoras o no resisten la alta concentración de metales en el suelo, presentando síntomas de fitotoxicidad.

Otro factor de importante consideración es la cadena trófica, a la cual no se quiere que lleguen estos metales pesados, por eso es bueno que los animales de pastoreo no la consuman.

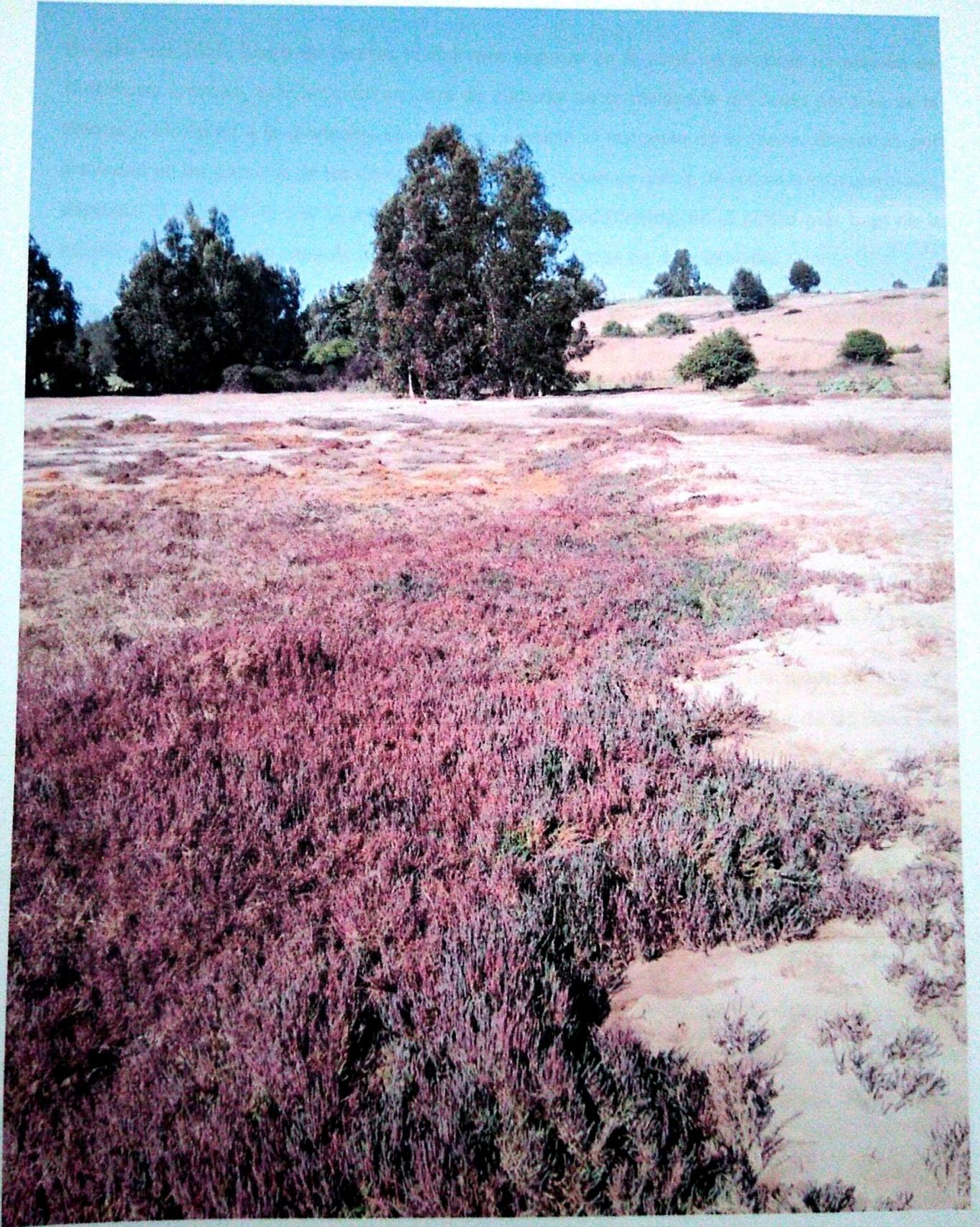


Imagen 10: Colonia de Salicornia Neel en el área afectada, Los Maitenes, Puchuncaví.

III. DESCRIPCIÓN DEL DAÑO AMBIENTAL

En julio del 2016, luego de fuertes lluvias que cayeron en la zona, se produjo un aluvión de sedimento arenoso, producto del arrastre de material no cohesionado del suelo del área de la planta, y aledaños a la quebrada sin nombre, ubicada al noroeste de la faena, drenando por gravedad en las parcelas de los demandantes. La microcuenca que le da forma a esta quebrada, depositó el agua lluvia con su respectivo arrastre de sedimentos, en el punto más bajo de la misma, generando una capa de arena de gran espesor y área de depositación.

Para analizar la escorrentía de aguas lluvias y sedimento del sector de estudio, se utilizó SIG (Sistemas de Información Geográficos), software ArcMap 10.3, en cual se genera un modelo de elevación digital del terreno, que establece las diferencias de altitud y permite determinar la escorrentía y su dirección de flujo. La herramienta Watershed de este software permite, con el método de triangulación, generar las cuencas y microcuencas del área deseada.

Este análisis es importante para determinar el área involucrada de arrastre de agua y sedimento, el que finalmente se deposita en el punto más bajo, explicando la gruesa capa de arena que se observa en la imagen satelital, y que contiene la acumulación de metales pesados en este sector.

El software genera la microcuenca a partir del punto de salida hídrico, estableciendo como límite del polígono, la línea divisoria del relieve del sector. Todo lo anterior a partir de las curvas de nivel con ejes X, Y, Z.

Dada la escasez de vegetación en el sector del área de la microcuenca y el tipo de suelo descrito anteriormente, se produce con las fuertes lluvias del mes de julio del 2016, un aluvión, que arrastra, a través de la quebrada, los sedimentos no cohesionados de los sectores aledaños a la quebrada, como son las laderas norte y sur y el sector de la Planta Montecarmelo.

Como señalan los resultados del análisis de metales pesados, de los suelos aledaños al sector de depósito de sedimentos, éstos presentan alto contenido de estos metales, por lo que se acumulan por arrastre y gravedad en el punto de desembocadura de la quebrada, denominado sector 5, y que presenta los más altos valores de metales en el suelo.

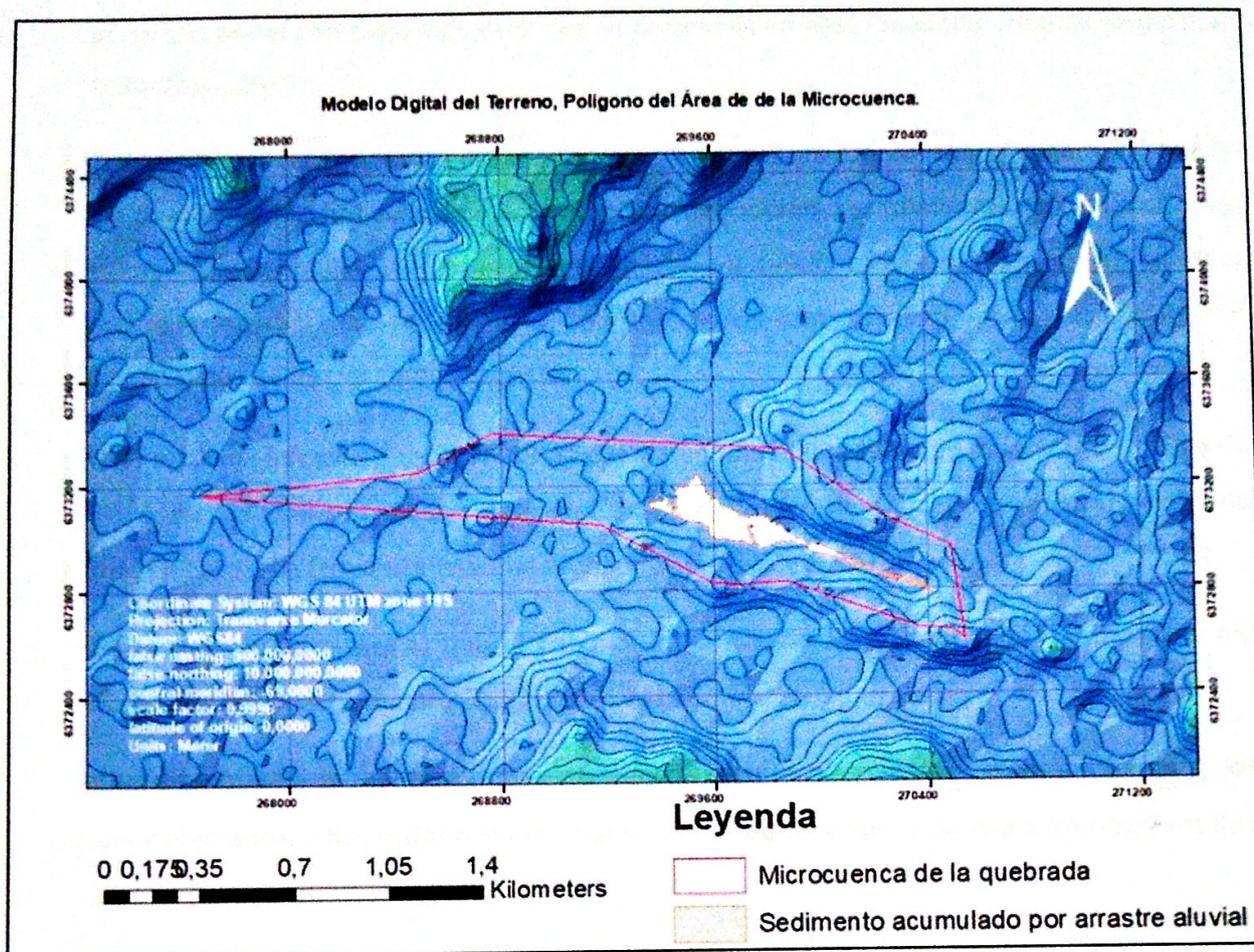


Figura 3: Mapa de realización propia.

Estos antecedentes se confirman con los resultados de los análisis químicos de suelos, realizados en el sector del depósito de sedimentos y suelo aledaño al mismo, sumado de varios estudios de la zona de Los Maitenes, realizados por distintas universidades.

A. Inspecciones y análisis de la situación

A petición de la Superintendencia del Medio Ambiente, la consultora Algoritmos realizó en septiembre de 2016 un muestreo de suelo, a fin de comparar las áreas afectadas por el escurrimiento de sedimentos contaminados, con aquellas aledañas que no lo fueron, respecto a sus contenidos de cobre, plomo, arsénico zinc y cadmio. Todo ello, teniendo en cuenta el estudio encargado por el Ministerio del Medio Ambiente "Muestreo de Suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso", de junio de 2015, en que se exponen los niveles basales de metales para dichas comunas producto, de la polución

generada por el complejo industrial que se desarrolla en ellas (Segundo Tribunal Ambiental, D-32-2016, 2019).

Tras analizarse los resultados del muestreo de la consultora Algoritmos, se determinó que en los puntos que no habían sido afectados por la deposición de sedimentos contaminados, los valores correspondían con los rangos existentes en ambas comunas, pero que en aquellos que si se habían visto afectados las mediciones los sobrepasaban varias veces (Segundo Tribunal Ambiental, D-32-2016, 2019).

Más tarde, el informe policial N° 39 da cuenta de una nueva toma de muestras en marzo de 2018, tras la cual se concluye que, en los predios de los demandantes, dicha situación no muestra mejoría (Segundo Tribunal Ambiental, D-32-2016, 2019).

Dado todo lo anterior, es que el tribunal ha concluido la existencia de daño ambiental. (Segundo Tribunal Ambiental, D-32-2016, 2019).

Ahora bien, para la realización de este plan de recuperación, se volvieron a muestrear los sitios afectados, a fin contar con información actualizada, y que responda a los objetivos que aquí se persiguen.

Previamente, a partir de un examen visual en el terreno e imagen satelital del mismo, se establecieron distintos sectores, a los cuales se le determinaran sus niveles de contaminación, así como parámetros de fertilidad, salinidad y pH. De cada sector se tomaron varias submuestras para su posterior homogeneización y cuarteo, de manera de constituir una sola muestra representativa de aproximadamente un kilo para cada sector. Fueron tomadas a una profundidad de 30 centímetros, pues ello corresponde con el alcance de las raíces de las plantas, que han de realizar la Fitoextracción.

Para realizar la sectorización, se consideró la porción de suelo que; dada la ausencia de vegetación, salvo por la *Salicornia Neei*, parece haber sido el área mayormente afectada por el sedimento. Esto incluye una parte de los sitios de los demandantes, como también los predios aledaños. Dicho espacio, que incluye la quebrada y la superficie adyacente, se dividió en tres sectores que, de Este a Oeste, fueron catalogados como Sector 1, Sector 3 y Sector 5, como se muestra en la imagen 11. Además, se determinaron tres sectores más, 2, 4 y 6, ubicados al Sur de cada uno de los anteriores, y estando restringidos a los predios de los

demandantes. De esta forma, se obtuvieron seis sectores distintos con su respectiva muestra representativa para cada uno.

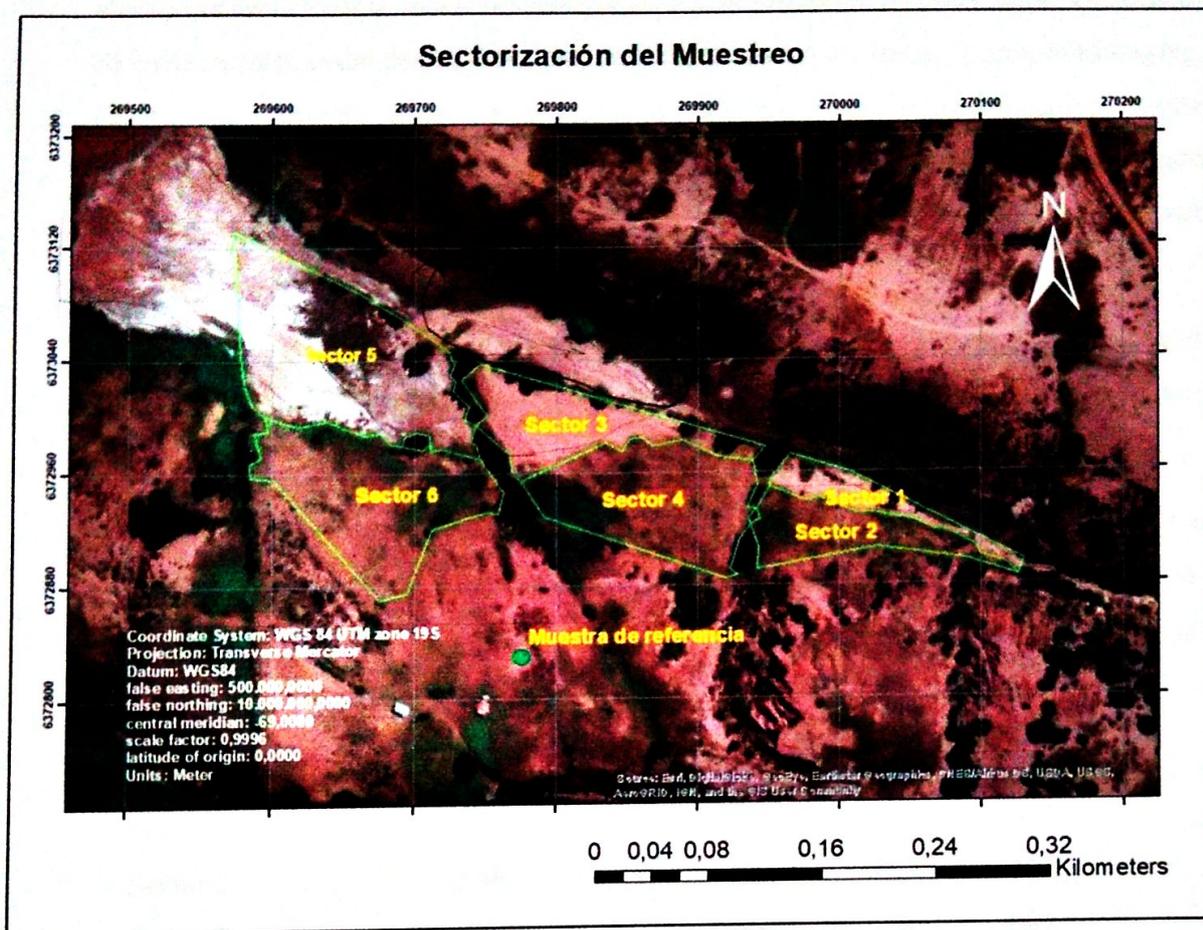


Imagen 11: Sectorización del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

La sectorización permite realizar un análisis comparativo de la concentración de metales entre los sectores pares e impares, los cuales manifiestan diferencias observables respecto a la vegetación presente en ellos. Por otro lado, se optó por tomar una muestra adicional de un punto alto, situado también en los predios, para reafirmar los valores background de contaminación por metales pesados en la localidad de Los Maitenes, y de esta forma tener un panorama más amplio de la magnitud y complejidad de la situación de elementos contaminantes presentes, y sus efectos en el crecimiento de la vegetación del área de influencia del estudio.

Por ejemplo, los valores del cobre (Cu) en el punto de muestreo de referencia (muestra 7), la cual se sitúa a 15 mts. de diferencia de altitud entre este y los sectores 1, 2, 3, 4, 5 y 6,

demandantes. De esta forma, se obtuvieron seis sectores distintos con su respectiva muestra representativa para cada uno.

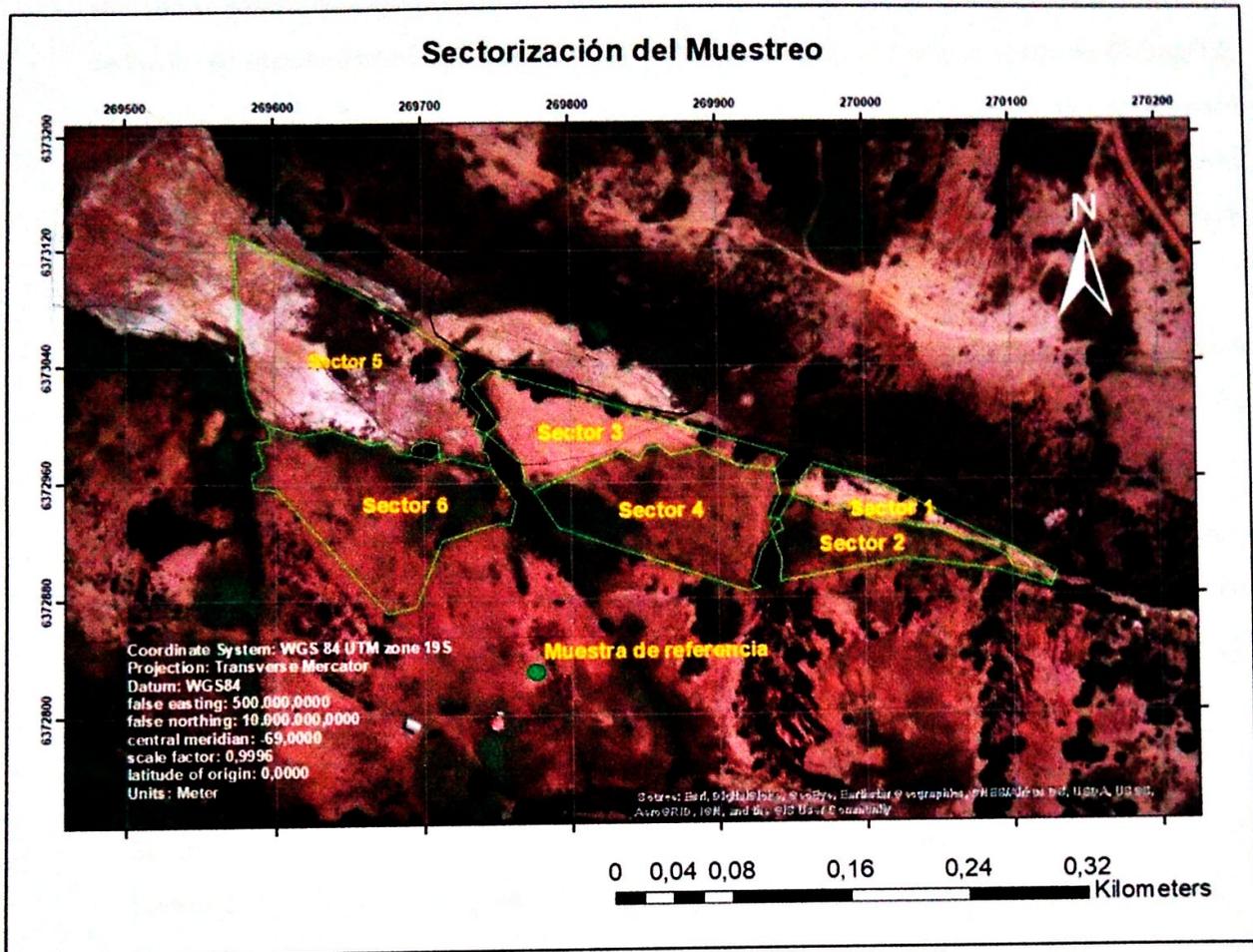


Imagen 11: Sectorización del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

La sectorización permite realizar un análisis comparativo de la concentración de metales entre los sectores pares e impares, los cuales manifiestan diferencias observables respecto a la vegetación presente en ellos. Por otro lado, se optó por tomar una muestra adicional de un punto alto, situado también en los predios, para reafirmar los valores background de contaminación por metales pesados en la localidad de Los Maitenes, y de esta forma tener un panorama más amplio de la magnitud y complejidad de la situación de elementos contaminantes presentes, y sus efectos en el crecimiento de la vegetación del área de influencia del estudio.

Por ejemplo, los valores del cobre (Cu) en el punto de muestreo de referencia (muestra 7), la cual se sitúa a 15 mts. de diferencia de altitud entre este y los sectores 1, 2, 3, 4, 5 y 6,

corresponde a 387 mg/kg. En los sectores 2, 4 y 6, marca un valor de 317mg/Kg, 184mg/Kg y 311mg/Kg, respectivamente, por lo que la diferencia es mínima, y el valor un poco más elevado se explica por la concentración que implica la deposición de sedimentos por arrastre de lluvia con el paso del tiempo (décadas). En los sectores 1, 3 y 5 marca un total de 636mg/Kg, 657mg/Kg y 635mg/Kg, respectivamente, por lo que se deduce que el sedimento proveniente del área del emplazamiento de la Minera Montecarmelo marca niveles más elevados, dado que es el lugar en el que se maneja y acopia el material para posterior procesamiento, que corresponde a rípios con contenido de metales pesados.

Ahora bien, los elementos analizados en el laboratorio fueron los mismos que en los estudios anteriores sobre este terreno (cobre, cadmio, zinc, arsénico y plomo), para continuar la línea investigativa.

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos para estos cinco elementos, en partes por millón, de los seis sectores mencionados, aparte de la muestra de referencia, así como los rangos contemplados en la norma canadiense de calidad ambiental (<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html>).

Sector muestra	Arsénico	Cadmio	Zinc	Plomo	Cobre
Sector 1	13,2	10,5	331	363	636
Sector 2	3,46	0,24	53	48,7	317
Sector 3	24	24,7	405	360	657
Sector 4	3,4	0,028	50	24,8	184
Sector 5	26	10,6	278	384	560
Sector 6	4,1	0,508	55	52,8	311
Muestra de referencia	3,48	0	50	46,2	387
Norma canadiense	12	1,4	250	70	63

Tabla 3: Valores en mg/Kg de arsénico, cadmio, zinc, plomo y cobre; obtenido del análisis realizado a las muestras extraídas para este informe en el sector de Los Maitenes.

Para una mejor comprensión, se expondrá mediante gráficos los resultados obtenidos para cada elemento por separado, contemplando la norma canadiense para establecer el parámetro al que se debe reducir los valores de metales mediante Fitoextracción.

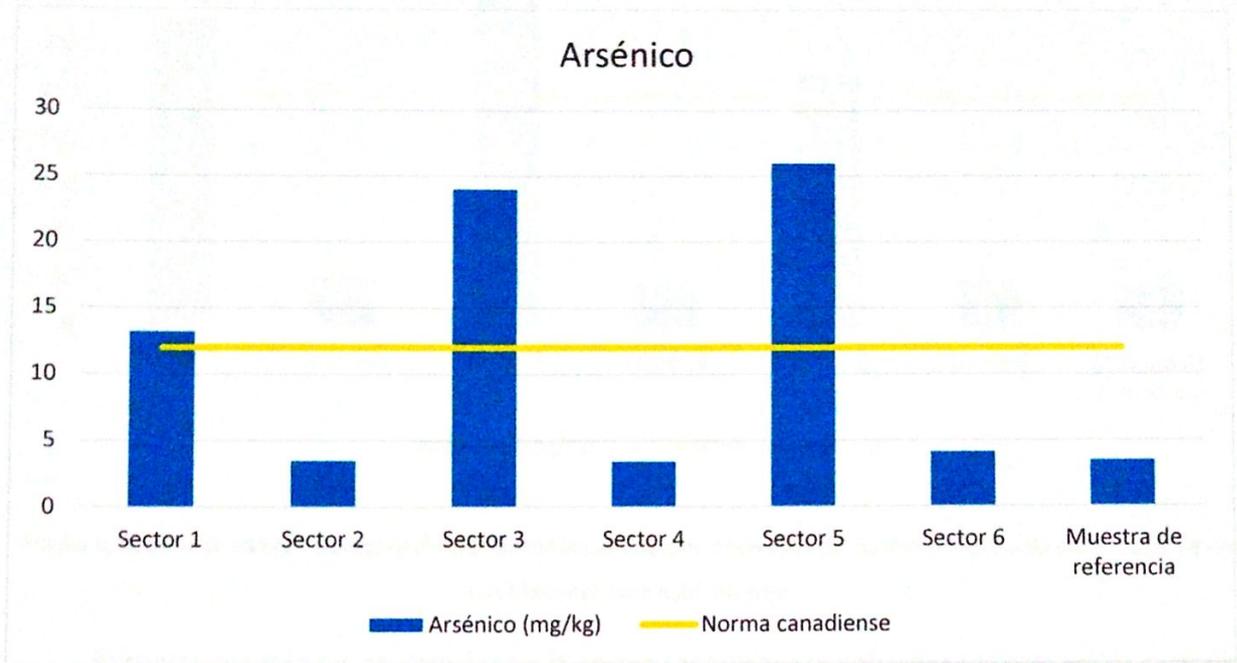


Figura 4: Gráfico de valores en mg/Kg de elementos totales de arsénico obtenidos del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

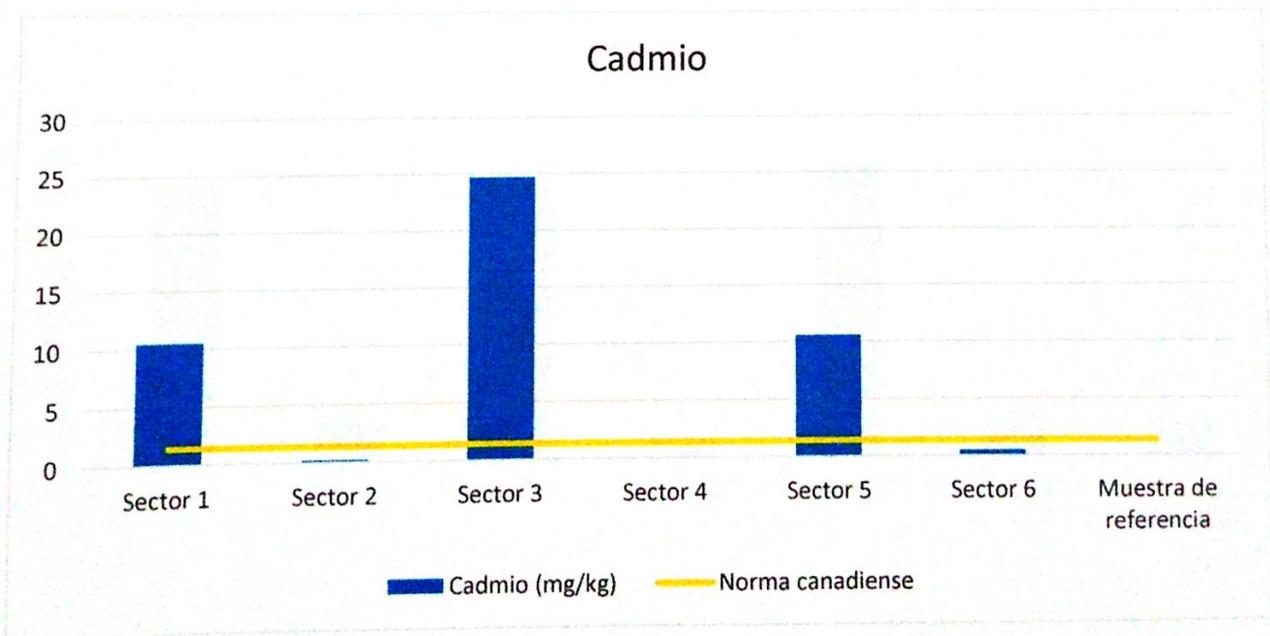


Figura 5: Gráfico de valores en mg/Kg de elementos totales de cadmio obtenidos del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

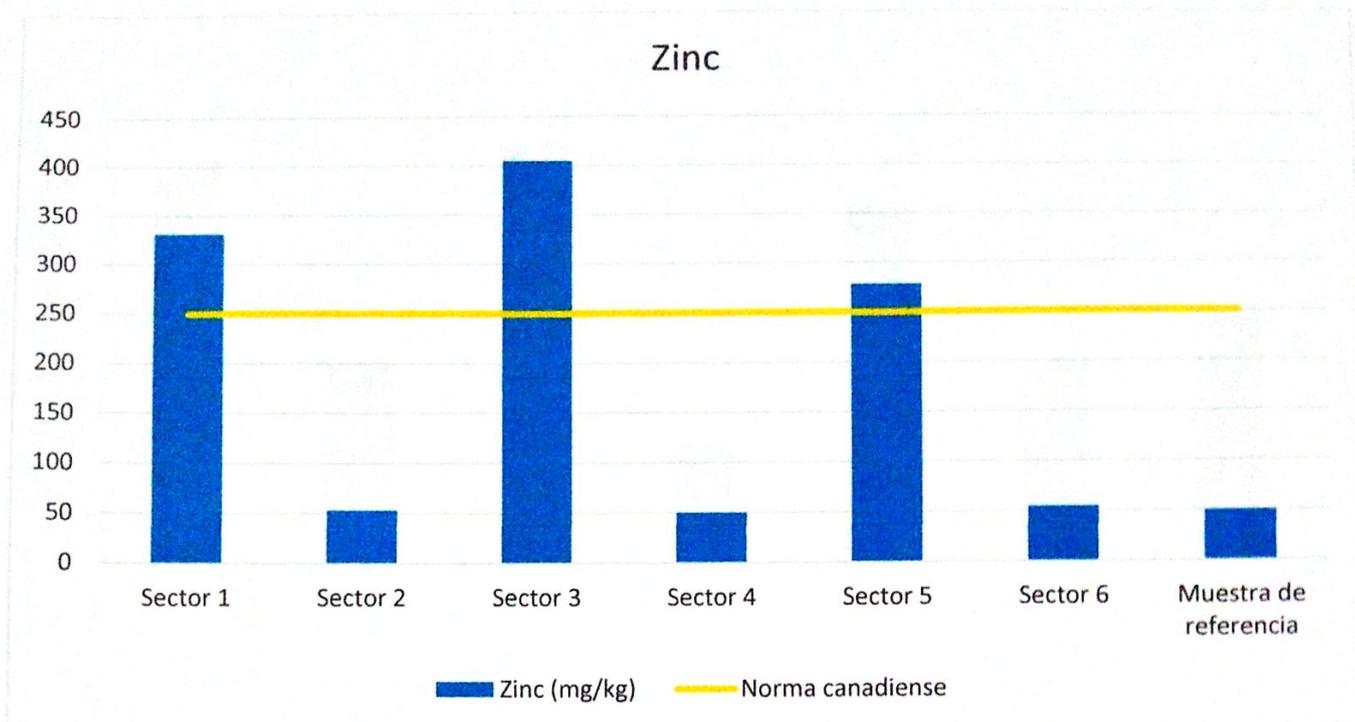


Figura 6: Gráfico de valores en mg/Kg de elementos totales de zinc obtenidos del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

Respecto al arsénico, se aprecia que la norma canadiense es sobrepasada solo en los sectores uno, tres y cinco; mientras que en los sectores dos, cuatro y seis se mantienen valores cercanos a la muestra de referencia, y que se encuentran por debajo de la norma citada. Lo mismo podemos concluir sobre el cadmio, el zinc y el plomo.

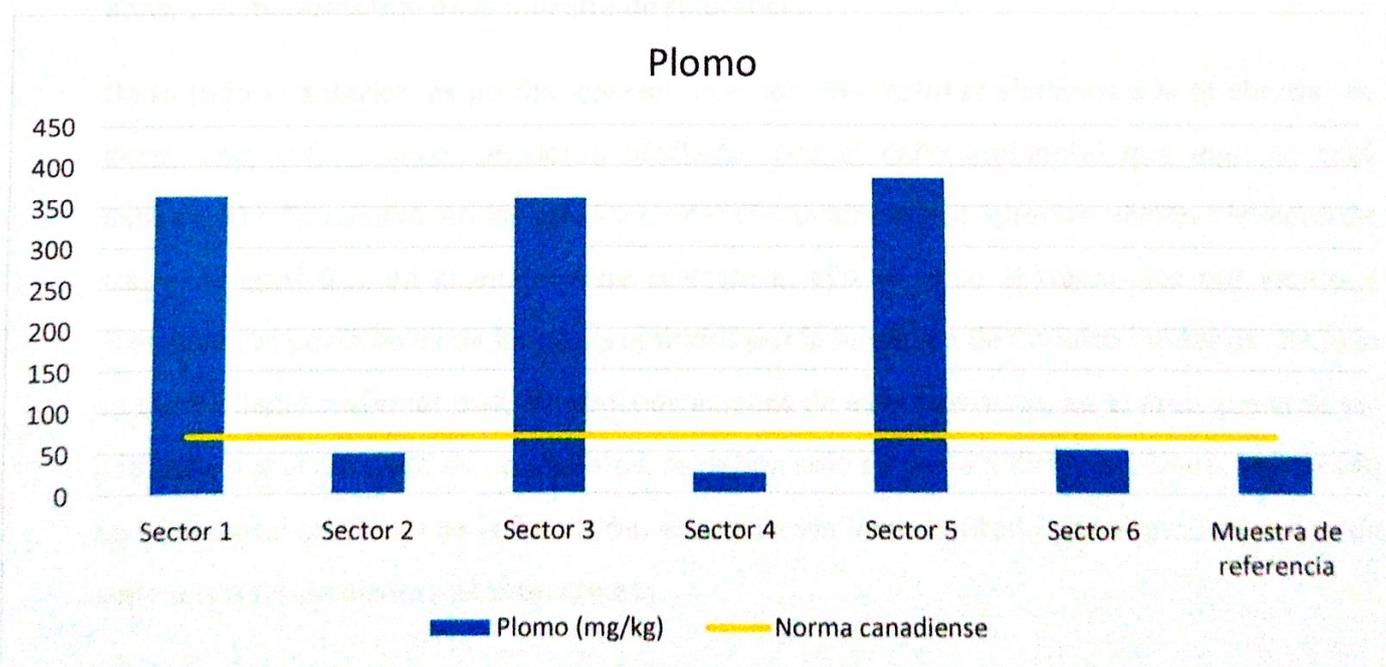


Figura 7: Gráfico de valores en mg/Kg de elementos totales de plomo obtenidos del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

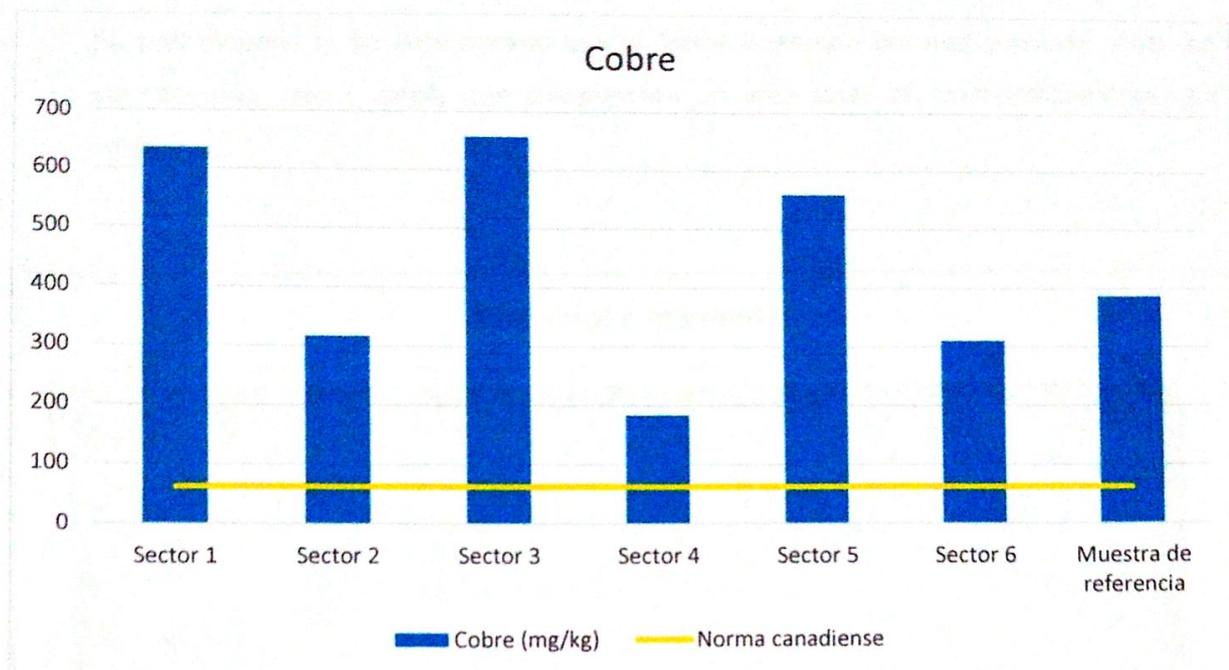


Figura 8: Gráfico de valores en mg/Kg de elementos totales de cobre obtenidos del muestreo realizado en la localidad de Los Maitenes para este informe.

Con el cobre ocurre algo distinto, pues dicho elemento sobrepasa la norma en todos y cada uno de los sectores, e incluso lo hace en la muestra de referencia. Sin embargo, se mantiene la constante de que sus concentraciones son mayores en los sectores uno, tres y cinco. No así a las magnitudes observadas en los sectores dos, cuatro y seis; donde, si bien siguen siendo altas, son menores que en la muestra de referencia.

Dado todo lo anterior, es posible concluir que solo los sectores aledaños a la quebrada, es decir, uno, tres y cinco, se vieron afectados por el daño ambiental que aquí se está exponiendo. En cambio, en los otros sectores efectivamente se aprecian niveles elevados de cobre, al igual que en la muestra de referencia, ello se debe al transporte por viento y precipitación por la lluvia de los gases emitidos por la fundición de Codelco Ventanas. Incluso se puede llegar a afirmar que, las concentraciones de este elemento, en el área que si se vio afectada por el depósito de sedimentos, se deben solo en parte a dicho incidente, existiendo un nivel basal producto de la fundición, el cual se vio incrementado por el escurrimiento de sedimento desde Minera Montecarmelo.

De esta manera, se ha determinado que el área a intervenir por este proyecto serán los sectores uno, tres y cinco; que comprenden un área total de, aproximadamente, 2,6 hectáreas.

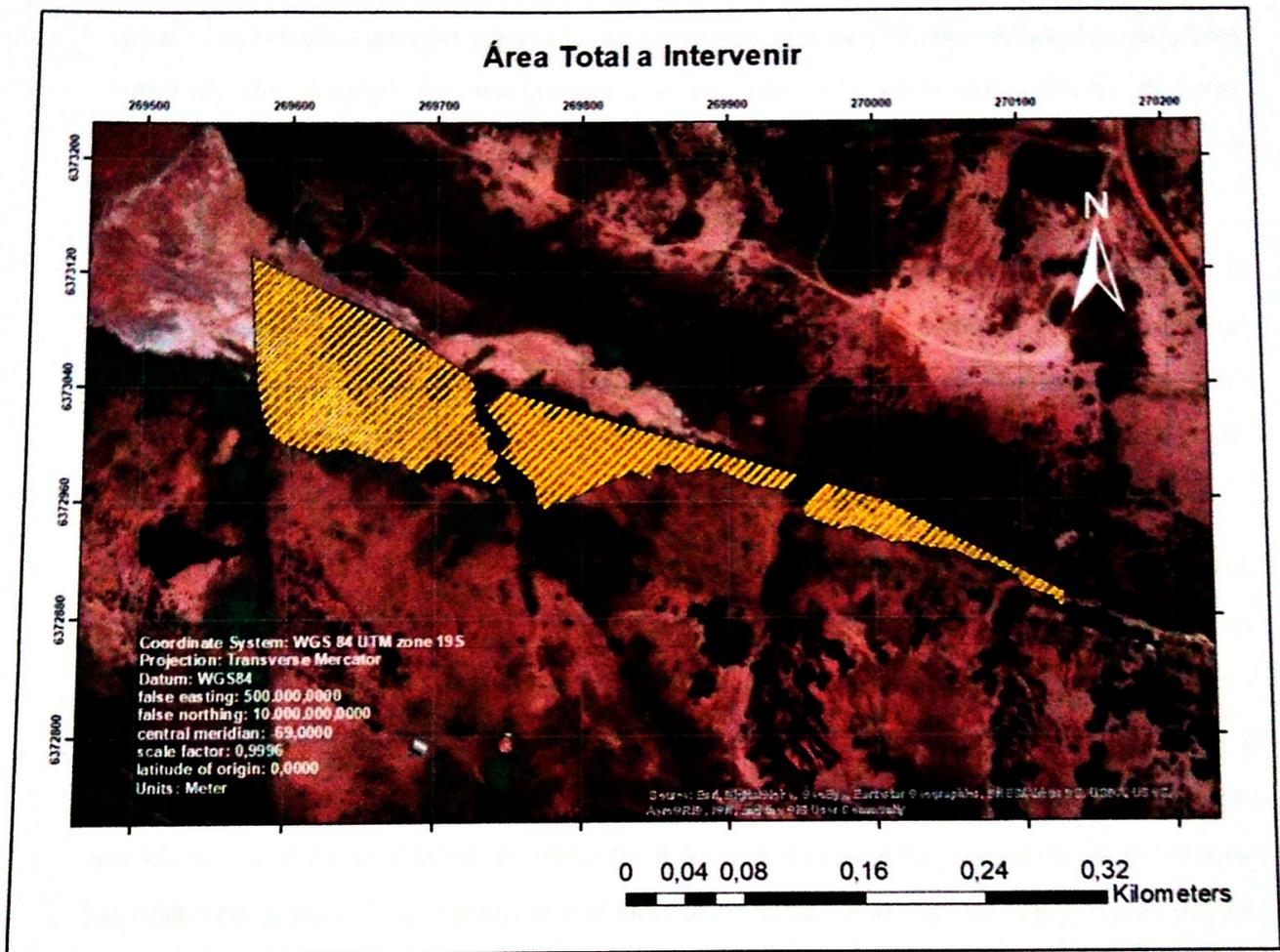


Imagen 12: En amarillo, el área a intervenir por el plan de Recuperación.

IV. FITORREMEDIACIÓN

A. El Concepto de Fitorremediación

Se describe como el uso de diversas técnicas cuyo objetivo principal es descontaminar el suelo mediante procesos biológicos llevados a cabo por organismos vegetales, los cuales son capaces de extraer, contener y degradar sustancias nocivas para la salud de las personas, tales como metales pesados, hidrocarburos y sustratos gaseosos, entre otros. Dentro de estas técnicas encontramos la Fitoextracción y Fitoestabilización, Fitodegradación, y Fitovolatilización respectivamente.

Las técnicas de Fitoextracción y Fitoestabilización son las más utilizadas para remediar los suelos de metaloides y metales, como es el caso del Cobre, Zinc, Cadmio, Arsénico y Plomo, por su efectividad y bajo costo (Warren y Allowey 2003). Para ello se utilizan especies vegetativas metalófitas y endémicas, las cuales reúnen las características de tolerancia a los metales y adaptación al clima.

Dentro de las ventajas de la fitorremediación está su eficacia para descontaminar bastas superficies, mayor rapidez en comparación al uso de bacterias, aceptación de las personas, mínima generación de residuos secundarios y en algunos casos incluso la restauración de la fertilidad de los suelos. Las desventajas, son principalmente la larga duración del proceso, el cual puede tomar incluso años, dependiendo de la severidad del daño a remediar; consideraciones de la cadena alimentaria a la que pueda estar expuesta la vegetación (animales de pastoreo, por ejemplo) y el alcance de profundidad de las raíces de las plantas Fitorremediadoras a utilizar.

B. Fitoextracción

La Fitoextracción será la técnica de Fitorremediación utilizada en el Plan de Recuperación, por ser la más factible para remediar el suelo de metales pesados. Éste proceso consiste en el cultivo in situ de plantas tolerantes acumuladoras en suelos con altas concentraciones de metales pesados, las cuales absorben y concentran estos metales en su biomasa aérea, la que posteriormente es cosechada e incinerada, de acuerdo a su período de crecimiento, produciendo una ceniza rica en elementos metálicos, la cual puede ser luego tratada como

desecho peligroso. De este modo, disminuye la concentración total de metales pesados en los suelos (Ginocchio et al., 2004; Marrero-Coto et al., 2012).

Las especies de plantas utilizadas para la Fitoextracción se clasifican en especies Indicadoras, Acumuladoras e Hiperacumuladoras, dependiendo de la relación entre los metales totales contenidos en el suelo y la capacidad de éstas de asimilarlos en su biomasa aérea, sin presentar síntomas de toxicidad. Para determinar la clasificación mencionada anteriormente, se utiliza el "Factor de Bio-Concentración" (FBC), definido como el cociente entre la concentración de un metal en la planta y la concentración del mismo en el suelo (McGrath & Zhao, 2003). Un FBC >1 indica que una planta es acumuladora.

Otro factor importante de considerar en la Fitoextracción, es la capacidad de producción de Biomasa de la especie, puesto que es determinante del tiempo que llevará a cabo el proceso. Dado esto es que se calcula el ciclo necesario para remediar X concentración de metales con distinto FBC. Una producción de biomasa de 10 a 20 ton/ha. en combinación con un FBC >20 permitirían reducir a más de la mitad las concentraciones de metales de un suelo en un lapso menor a 10 años, período el cual según varios autores es considerado aceptable para llevar a cabo un proceso de Fitoextracción a gran escala (Van Nevel et al., 2010; Vassilev et al., 2004).

Por otro lado, para que un proceso de fitoextracción resulte eficaz, se debe incluir el factor de adaptación del espécimen a las condiciones edafológicas (suelo) y clima de la zona a recuperar, puesto que pueden influir en sus respuestas fisiológicas y por ende en su capacidad fitorremediadora (Becerril et al., 2007; Sheoran, 2009). Además, la introducción de flora exótica puede desencadenar desequilibrio en los ecosistemas, generando otro daño al ambiente. Es por esto que se debe trabajar con especies nativas, autóctonas o endémicas.

Respecto a la Biodisponibilidad de los elementos a extraer, dependerá de las características de acidez del suelo y salinidad, puesto que el intercambio de cationes permite o neutraliza la migración de los metales hacia la planta. La mejor manera de establecer el valor concreto de biodisponibilidad, es analizando los metales presentes en la materia orgánica seca de la planta una vez cosechada, debido a que la extracción de metales en un período determinado de tiempo por parte de un espécimen no es estable y por lo tanto no se puede predecir, solo estimar. Al disminuir la biodisponibilidad año a año, la extracción también disminuye. (Van Nevel, 2007).

No se conoce el patrón que sigue esta disminución ya que en cada caso el suelo alcanza nuevos equilibrios al perder parte de sus metales disponibles, supliéndolos probablemente con parte de éstos absorbidos en la materia orgánica o arcillas, pero se desconoce en qué medida. Esta dinámica no se puede predecir, sino que depende de cada sistema suelo-planta-clima (Neaman 2016).

Por todo lo anterior, la importancia de aplicar Enmiendas al suelo, para lograr un PH adecuado para las plantas, y aportar suficiente materia orgánica para su adecuado desarrollo y crecimiento, son parte fundamental en la Fitoextracción.

Un manejo adecuado del suelo, riego, fertilización, control de plagas y monitoreo, asegurará la recuperación del suelo para sustentar el crecimiento de las plantas, las cuales por si mismas en el ambiente adecuado extraerán los metales potencialmente dañinos para la salud de las personas.

V. ESPECIES SELECCIONADAS PARA FITOEXTRACCIÓN

Las especies seleccionadas han sido estudiadas por varias universidades de Chile, quienes han volcado sus esfuerzos en difundir los conocimientos adquiridos tras investigaciones sobre la capacidad Fitoextractora de especies autóctonas de nuestro país, presentes en zonas saturadas de metales pesados, como zonas de relaves mineros abandonados y zonas de sacrificio. Este material se ha estudiado con el fin de seleccionar las especies más viables, y que serán las protagonistas del plan de recuperación de suelo contaminado en la Localidad de los Maitenes.

A. *Lolium Perenne* (Ballica)



Imagen 13: Espiga de *Lolium perenne*.

Los pastos perennes son reconocidos como tolerantes a metales pesados, crecen en sitios contaminados y dada su capacidad de absorberlos constituyen una alternativa de remediación de suelos al generar también altos rendimientos con elevada biomasa. En Chile, aunque a nivel de invernadero, han estudiado con éxito ballica (*lolium perenne*) en la remediación de relaves de Cu. En este sentido, varios otros autores (Duquène et al., 2009; Alvarenga et al., 2008) han estudiado y avalado la capacidad de esta especie como fitorremediadora.

Sus tallos crecen hasta 80 cms, de color verde intenso. Su germinación es bastante rápida, en 5 a 7 días se puede apreciar todo el sembrado verde. Esta especie perdura de 3 a 4 años, aunque el cegado la debilita un poco. Manifiesta buena tolerancia a la salinidad.

El estudio realizado por Valesca Cárcamo Azócar, ingeniero agrónomo de la Universidad de Chile, estudiando la especie *lolium perenne* y su comportamiento fitoextractor con diversas enmiendas de suelo en suelos ácidos y contaminados de la comuna de Puchuncaví, nos entrega los datos de acumulación en la biomasa de esta especie para Cu, Cd, As, Zn y Pb. En este estudio se concluye que la aplicación de enmiendas no constituye implicancias en la absorción de metales.

El estudio realizado por Carol Riffo Estay, de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, establece los valores de concentración en la biomasa aérea y raíz de esta especie, además de los valores del sustrato, cuyos datos se presentan en la tabla a continuación.

Estos datos se utilizan de referencia, puesto que el comportamiento en experimentos *ex situ* de las especies difiere del desarrollo *in situ*, además de otras variables como el clima, los parámetros de calidad de suelo, etc.

Acumulación de metales pesados Pseudo-total y Biodisponible del suelo en Lolium Perenne ó Césped.

Metal	Partes de la planta	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	PM1	PM2	PM3	PM7	PM8
		[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]
Zn	Raíz	3836,882	162,093	179,379	120,879	111,85	85,3	87,1	164	123,3	108
	Parte aérea	108,492	70,4	74,14	98,061	76,979	71	86,3	103	61,2	59,7
	Suelo Pseudo-Total	132	129	124	129	128	127	139	120	134	132
	Suelo Biodisponible	14,7	17,57	17,72	19,34	15,98	17,02	16,86	15,5	16,28	16,43
Cu	Raíz	396,603	46,347	72,149	32,596	36,382	15,3	15,6	28	39,2	19,7
	Parte aérea	26,719	12,86	23,725	20,9	16,953	17,1	17,8	21	15,2	17,1
	Suelo Pseudo-Total	47	42	47	47	45	43	43	39	50	51
	Suelo Biodisponible	4,17	4,14	6,61	5,63	4,53	5,46	4,52	3,77	4,82	6,34
Pb	Raíz	24,108	13,003	28,946	14,702	14,684	3,8	3,8	4,7	6,7	1,7
	Parte aérea	9,768	ND	6,969	5,086	4,948	3,9	4,5	ND	5,1	ND
	Suelo Pseudo-Total	36	32	43	34	36	33	31	36	34	49
	Suelo Biodisponible	1,62	2,1	4,24	2,89	2,24	2,48	1,9	1,91	2,3	4,79
Cr	Raíz	12,602	ND	14,833	12,177	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Parte aérea	ND	ND	3,707	12,873	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Suelo Pseudo-Total	20	19	17	19	18	18	18	18	18	19
	Suelo Biodisponible	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
Ni	Raíz	8,062	3,35	4,176	3,044	2,557	ND	ND	0,4	0,4	0,5
	Parte aérea	3,39	ND	ND	ND	2,677	0,7	ND	ND	ND	ND
	Suelo Pseudo-Total	30	29	25	28	27	27	28	29	28	26
	Suelo Biodisponible	0,38	0,44	0,43	0,45	0,42	0,35	0,4	0,39	0,44	0,42

ND: No detectado

Tabla 26. Concentraciones de Zn, Cu, Pb, Cr y Ni en Lolium Perenne en los maceteros CM2, CM3, CM4, CM5, CM6, PM1, PM2, PM3, PM7, PM8.

Tabla 4: Valores de concentración en la biomasa aérea y raíz de lolium perenne (Riffo C., 2016, página 77).

B. Salicornia Neei

Colonizadora espontánea del sector a remediar, se denomina también espárrago de mar, del género de plantas halófitas y suculentas, crece en playas, salares y humedales; es pequeña, puesto que solo crece hasta 40 cms. de altura.

Esta especie botánica no presenta síntomas de fitotoxicidad en ambientes salinos y de alta concentración de metales pesados.

En el estudio realizado en suelo de Los Maitenes, en la comuna de Puchuncaví, y en el estudio "Fitoextracción de Metales Pesados desde relaves utilizando Plantas de Salicornia Neei." B.A. Sepúlveda, O. Pavez, M. Tapia, se establece la dificultad de germinar semillas de Salicornia Neei, por lo que en ambas investigaciones se opta por el cultivo de esquejes.

El estudio realizado por alumnos de la Universidad Católica de Valparaíso, en conjunto con la Universidad de Playa Ancha, establece valores de absorción de metales pesados coincidentes con el estudio mencionado anteriormente, los cuales se presentan en la tabla a continuación.

Table 1. Concentration of heavy metals in the soil and plants ($\text{mg kg}^{-1} \pm \text{SE}$).

Metal	Soil Los Maitenes *	Soil Matanzas *	<i>S. neei</i> Los Maitenes	<i>S. neei</i> Matanzas
Cd	2.88 (± 0.54)	1.06 (± 0.37)	2.7 (± 0.77)	<0.01 (± 0.08)
Pb	26.70 (± 10.24)	17.80 (± 8.01)	25.40 (± 11.84)	<0.01 (± 0.10)
Cu	523.30 (± 98.13)	17.90 (± 3.45)	332.00 (± 62.28)	10.20 (± 3.28)
As	61.23 (± 14.25)	5.38 (± 0.69)	3.07 (± 0.58)	0.09 (± 0.12)

* Three composite samples were extracted with 6 sub-samples each at a depth of 20 cm.

Tabla 5: (Meza V., 2018)

Esta tabla explica un análisis comparativo entre *Salicornia Neei* de un suelo contaminado de Los Maitenes, con un suelo sin contaminantes de Las Matanzas, ambos sitios humedales costeros de la zona centro de Chile.

En otro estudio, denominado "Uso de *Salicornia* en Fitorremediación de Relaves, Sepúlveda, B.A., Pavez O., Tapia M." de la Universidad de Atacama, el cual tiene por objetivo evaluar el comportamiento de las especies de *Salicornia Neei* en relave y su capacidad Fitoextractora, se obtienen resultados similares de extracción de metales pesados por parte de las plantas, por lo que se espera resultados consecuentes a estos datos durante el desarrollo del proyecto de recuperación.

Tabla II. Elementos químicos absorbidos por las plantas de *salicornia* utilizadas en los ensayos de laboratorio.

Elementos químicos	Cu	Fe	Mn	Mo	As	Hg	Cd
Concentración (mg/kg ps)	182,6	4557,9	135,6	<5	2,84	0,49	<0,25

Tabla 6: Resultados del estudio de Sepúlveda B.A. (2012, página 466).

Estos estudios concluyen que esta especie tiene potencial fitorremediador, dando cabida a la selección de esta especie para nuestro proyecto de recuperación de suelo.

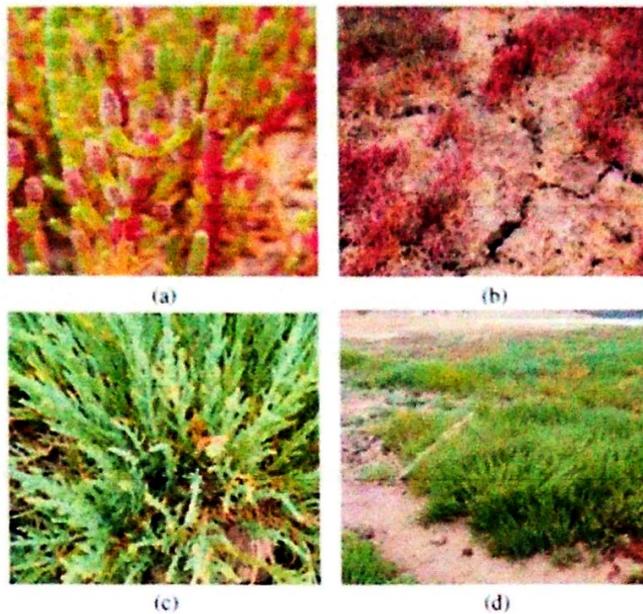


Imagen 14: Especímenes de Salicornia Neei (Meza V., 2018).

En la imagen 14 se muestra la diferencia de coloración de la Salicornia Neei en un suelo contaminado por metales pesados (planta roja), y un suelo normal. Figuras a y b corresponden a Salicornia Neei de Los Maitenes. c y d, a Salicornia Neei de Las Matanzas.

C. Uso de Salicornia Neei en proyectos actuales de Fitorremediación en la comuna de Puchuncaví.

En las localidades de la comuna de Puchuncaví, la Universidad de Playa Ancha ha desarrollado un programa para informar a la comunidad, sobre la capacidad de la planta Salicornia Neei para fitorremediar suelos contaminados por arsénico y cobre, metales provenientes de la fundición Codelco Ventanas. Han capacitado a los agricultores de la zona para que cultiven esta especie y reduzcan, de este modo, las altas concentraciones presentes en sus suelos y cultivos.

UPLA inicia trabajo de biorremediación de suelos con comunidad de Rungue



UPLA INICIA TRABAJO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON COMUNIDAD DE RUNGUE

© Agosto 11, 2019 | Educación Regional | Los contenidos están actualizados | 0 Votos

"Lo que estamos haciendo son dos cosas: uno fortaleciendo capacidades con la comunidad a través de la enseñanza de algunas formas de biorremediar sus propios suelos, de tal manera que ese suelo, una vez descontaminado, puede tener otros usos. Por otro lado, estamos aplicando técnicas de biorremediación de suelos y fortaleciendo capacidades en la comunidad. Ellos saben cuál es el problema, lo que no tienen claro son algunas técnicas que podrían limpiar sus suelos. Nosotros estamos preocupados de eso", explicó Verónica Meza.

Para ello, capacitan a la comunidad en el manejo de una "planta halófila" nativa denominada *Sarcocornia nesi*, que es capaz de absorber metales pesados y, por lo tanto, puede limpiar los suelos en un porcentaje importante. Eso es lo que estamos haciendo: enseñándoles a los vecinos la planta y las variables que hay que conocer desde el punto de vista del suelo y la humedad, para que ellos tengan herramientas para poder limpiar sus suelos", agregó la decana de ingeniería de la UPLA.

Otro aspecto tiene que ver con el desarrollo de cultivos en bandejas, utilizando para ello tierra de hoja o suelo que no provenga de zonas contaminadas, de tal manera que puedan cultivar en invernaderos o estructuras que estén protegidas de las emisiones actuales. Esta iniciativa forma parte de un proyecto de incubación que cuenta con financiamiento de la Dirección General de Vinculación con el Medio UPLA, a cargo de la académica Ximena Espinoza.

<https://www.radiofestival.cl/upla-inicia-trabajo-de-biorremediacion-de-suelos-con-comunidad-de-rungue/>

Puchuncaví: alerta por presencia de arsénico en las hortalizas

NICOLE VALVERDE Y BELÉN VELÁSQUEZ / LA ESTRELLA DE VALPARAÍSO

29.07.2019 Estudio realizado por la PUCV en 2018 develó altos índices en cultivos de la zona. Critican que a la fecha no se haya tomado medidas para apoyar a los agricultores y residentes.



<https://www.soychile.cl/Valparaiso/Sociad/2019/07/29/608068/Puchuncavi-alerta-por-presencia-de-arsenico-en-las-hortalizas.aspx>

Recomendaciones del estudio

El estudio "Suelo, polvo domiciliario y vegetales cultivado en la zona como medios de exposición humana a elementos traza en la comuna de Puchuncaví" fue realizado por los investigadores Alexander Neaman, Maite Berasaluce, Nilo Lizandi y Pedro Mondaca, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la PUCV.

Los investigadores seleccionaron seis hortalizas que tradicionalmente se cultivan en la zona: lechuga, acelga, repollo, papa, betarraga y zanahoria, en áreas con mayor concentración de metales, como La Greda, Campiche y Los Maitenes; y en zonas alejadas del Complejo Industrial Ventanas, como Maitencillo y Valle Alegre. Las principales recomendaciones tras el estudio, dado a conocer en noviembre pasado,

VI. OBJETIVOS DEL PLAN DE REPARACIÓN

Ya establecida cual es la afectación del componente suelo, y cuál es el área a intervenir, se establece que el objetivo general de este proyecto es el de reparar el daño ambiental al componente suelo, en los predios de los demandantes, consistente en las altas concentraciones de cobre, cadmio, arsénico, zinc y plomo que este presenta. Lo anterior, en concordancia con lo dispuesto por la sentencia D-32-2016, año 2019.

Ahora bien, la ley 19.300 define la palabra “reparar” como devolverle al medio ambiente o a uno de sus componentes, en este caso el suelo, las características que tenía previo al daño del que fue objeto. Sin embargo, en este caso es difícil lograr tal cosa, pues, a medida que se vaya limpiando el lugar de los metales y metaloides, el viento y la lluvia ácida seguirán constantemente depositando en él los contaminantes liberados a la atmósfera por la fundición de cobre, y las varias termoeléctricas cercanas.

Por ello es que cuando se habla de “reparar” en este caso, se hace referencia a disminuir los contaminantes del suelo, a niveles que no representen un riesgo para la salud de las personas ni para el medio ambiente. Para ello se usará como meta, el alcanzar la norma canadiense de calidad ambiental, pues no existe en Chile un parámetro equivalente a este.

La técnica a utilizarse para ello es la Fitoextracción a través de dos especies distintas: *Salicornia Neei* y *Lolium Perenne*. Sin embargo, como ya se ha mencionado, el suelo en este sector se encuentra muy pobre en cuanto su fertilidad y su capacidad de drenaje. Debido a esto es que, previo a la primera siembra, se procederá a acondicionar la tierra, para que las plantas se encuentren con un ambiente propicio para su desarrollo, y consecuente cumplimiento de su función Fitorremediadora.

Una vez que hayan alcanzado un estado de madurez adecuado, se cosechará su parte aérea, que es donde se almacenan en mayor medida los metales pesados y metaloides. Dicha masa vegetal será tratada como desecho tóxico, al tiempo que se irán monitoreando las magnitudes de contaminantes que haya almacenado, así como aquellas que conserve el suelo, para medir la efectividad de los medios utilizados, e ir evaluando en forma periódica los plazos necesarios para llegar al objetivo final que se persigue. De esta forma, el proyecto se irá retroalimentando de los resultados obtenidos, de manera de poder evaluar eventuales replanteamientos del plan inicialmente trazado.

Dicho lo anterior, se pasará a explicitar cuales son los objetivos del presente proyecto de recuperación ambiental.

1. Objetivo General:

Reparar el daño ambiental en los predios de los demandantes, señalado en la sentencia D-32-2016 y consistente en la alta presencia de metaloides y metales pesados depositados en la quebrada y el suelo aledaño a ella, en el sector de Los Maitenes, comuna de Puchuncaví.

2. Objetivos Específicos:

- a. Preparar el suelo para que cuente con condiciones idóneas para el desarrollo de las plantas Fitorremediadoras en los predios de los demandantes en la quebrada y el suelo aledaño a ella.
- b. Fitoextraer en los predios de los demandantes, los contenidos de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc depositados en la quebrada y el suelo aledaño a ella, que sobrepasan la norma canadiense de calidad ambiental.
- c. Monitorear e informar la efectividad de las medidas contempladas en este plan de reparación, sobre los predios de los demandantes en la quebrada y el suelo aledaño a ella.

VII. MEDIDAS DE RECUPERACIÓN

A continuación, se pasará a exponer en detalle cuáles serán las medidas a aplicar para responder a cada uno de los objetivos específicos arriba puntualizados.

A. Primer objetivo específico: *Preparar el suelo para que cuente con condiciones idóneas para el desarrollo de las plantas Fitorremedadoras en los predios de los demandantes en la quebrada y el suelo aledaño a ella.*

En esta etapa se procederá a remover el suelo para la aplicación de enmiendas que estabilicen química y físicamente la capa de suelo a cultivar.

El pH del suelo se encuentra dentro de los parámetros deseables, por lo que no necesita estabilizarse. Es importante hacer notar este aspecto, ya que el Cu, en su forma asimilable para las plantas (Cu+2), tiene una mayor disponibilidad entre pH 5 y 7, lo que incide en la absorción por parte de las plantas (Havlin et al., 2013).

Se agregará materia orgánica al suelo, al menos un 20%, puesto que es fundamental para el desarrollo y apropiado crecimiento de la masa vegetal esperada. Se fertilizará con guano rojo y guano de equino.

Antes de fertilizar, se removerá el suelo con tractor que ablande el suelo con el fin de que las raíces tengan mayor facilidad para crecer, y que el terreno tenga una mejor oxigenación y permeabilidad al agua. Nuevamente, se pasará el tractor tras la fertilización de manera que la materia orgánica y sus nutrientes se mezclen con el resto de la tierra y que, de paso, quede más esponjosa.

Se instalará un sistema de riego, el cual consiste en una moto bomba a bencina, la cual extraerá agua del pozo muestreado. Los permisos para ello ya fueron solicitados al dueño del predio, don Manuel Vega Puelles, quien ha accedido a la petición de utilizar el agua de su pozo, para la implementación del plan de recuperación. El sistema de riego seleccionado es el de riego por aspersión, puesto que abarca un área amplia, y es eficiente para un óptimo manejo del recurso agua, en tiempos de sequía.

En los predios de los demandantes, ellos reforzarán, en conjunto, los cercos perimetrales, para impedir el paso de animales de pastoreo a los sectores sujetos a fitorremediación, puesto que pueden pisotear, y por ende, dañar las plantas y el sistema de riego.

B. Segundo objetivo específico: Fitoextraer en los predios de los demandantes los contenidos de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc depositados en la quebrada y el suelo aledaño a ella, que sobrepasan la norma canadiense de calidad ambiental.

Para la especie *Salicornia Neei*, el medio de reproducción que involucra menos pérdida de ejemplares es la plantación de esquejes (Contreras O., 2012). Estos se obtendrán desde la colonia existente en el Humedal los Maitenes, resguardando siempre el cuidado del entorno. La colonia tiene un número de individuos suficiente como para no sufrir un impacto negativo durante este proceso, puesto que ha sido descrita como una especie vegetativa dominante en este sector (Figueroa R., Lillo C., Meza V., Rivera D., Soto E., 2018).

Los esquejes tendrán un tamaño de 10 cm máximo, los cuales enraízan en un periodo de un mes (Contreras O., 2012). Para el enraizamiento se utilizará un enraizante de uso agrícola. Se calculó un total de 25.462 esquejes a plantar en los sectores uno, tres y cinco a un metro de distancia cada uno. Se estableció un ritmo de corte de esquejes de 40 ejemplares por hora, aproximadamente, cinco días a la semana, durante tres meses, para completar los 22.191 especímenes necesarios para el plan de recuperación.

Previamente, se implementará un invernadero en las dependencias de la Planta Procesadora de Sales Metálicas Minera Montecarmelo, en el cual se cultivarán y se prepararán los esquejes y la germinación de las especies a utilizar en la fitorremediación.

Este invernadero contempla:

- Un estanque de agua para regadío con sistema gravitacional.
- Recipientes y bandejas para los procesos de enraizamiento, crecimiento de esquejes y germinación de semillas.
- Las herramientas y materiales necesarios para estos trabajos tales como tijeras para podar, palas pequeñas, arnero, bolsas para plantas, tierra de hoja, arena de río, entre otros.

Durante el mes en que permanezcan en el invernadero, se monitoreará el crecimiento de los esquejes, se reemplazará el porcentaje de mortandad y se sembrarán semillas de *Salicornia perenne* para evaluar su germinación, en muestras de suelo de los distintos sectores.

Ya enraizados y tras un mes en el invernadero, se trasplantarán los esquejes a los sectores uno, tres y cinco, previamente acondicionados y con su respectiva cuadrícula. En esta cuadrícula se plantará un ejemplar de *Salicornia Neei* en cada sección de un metro cuadrado y el resto de suelo de esta área será sembrada con *Lolium Perenne*. De este modo, se cubre una mayor área de suelo. Se estima que la plantación total de los 3 sectores demorará dos meses aproximadamente.

Cabe señalar que, para todos los procesos de este plan de recuperación, los trabajadores que desempeñen estas labores contarán con los implementos de seguridad apropiados, tales como sombrero, bloqueador solar, gafas de sol, guantes y botas de seguridad.

Se ejecutará un monitoreo constante del desarrollo de las plantas, midiendo el crecimiento de los especímenes cada 15 días. De ser necesario, se reemplazarán las plantas que presenten signos de estancamiento en el crecimiento. Para esto se mantendrá un stock en el invernadero de ejemplares, listos para ser trasplantados. La penetración radicular en el suelo también ha de controlarse, puesto que los altos niveles de metales, especialmente el cobre, puede generar su inhibición.

Respecto al riego, su monitoreo consistirá en chequear la adaptación de las plantas al suelo y regar día por medio, con mayor o menor cantidad de agua, dependiendo de la humedad del suelo y de los requerimientos de agua de las especies.

Se descarta desmalezar el lugar, puesto que cualquier especie vegetal que presente rasgos de crecimiento espontáneo, se analizará en laboratorio para determinar si extrae metales del suelo o no.

Se verificará, por otra parte, si las plagas de roedores (liebres, conejos, cururos) causan daño a la plantación por ramoneo. De ser así, se ha de implementar un sistema de aislamiento de las plantas, de estos animales.

Para todo lo anterior, se trabajará con una bitácora, donde se llevará a cabo el seguimiento y se tomará nota de las observaciones, para generar posteriormente reportes con los resultados a corto, mediano y largo plazo.

La cosecha se llevará a cabo cuando las plantas alcancen su peak de crecimiento vegetativo, y antes de que comience su floración, pues en esta etapa los vegetales hacen descender los metales desde sus hojas hacia las raíces nuevamente (González M., 2016).

En el caso de la Salicornia Neei, esto se da a partir de mayo, mientras que para Lolium Perenne se empleará una variedad de floración tardía, esto es, que no genera espigas hasta el tercer año, de manera de no contar con la limitación de tener que cortarlas en fechas distintas.

Entonces, se cosechará la biomasa aérea con una cortadora de pasto bencinera, y se acopiará en un lugar seguro, para luego enviarla a un sitio autorizado, donde esta sea tratada como residuo peligroso, de acuerdo lo establecido por la ley vigente, mediante el Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos.

Estas especies, al ser perennes, rebrotan una vez cosechadas, por lo que no se hace necesario trasplantar ni sembrar nuevamente, iniciándose así un nuevo ciclo de crecimiento con sus respectivos monitoreos y controles ya establecidos.

Las medidas a implementar para Lolium Perenne difieren en que la siembra se realizará por semillas esparcidas directamente en el suelo, con una alta densidad y baja profundidad en los meses de febrero y marzo. Para todo lo demás, su tratamiento será el mismo que para la Salicornia Neei.

C. Tercer objetivo específico: *Monitorear e informar la efectividad de las medidas contempladas en este plan de reparación sobre los predios de los demandantes en la quebrada y el suelo aledaño a ella.*

Luego de los primeros seis meses de crecimiento, se realizará el primer muestreo para un análisis químico de biomasa y suelo, para medir la capacidad de extracción de las plantas durante este período de tiempo, y en esas condiciones específicas, tomándose en cuenta el tejido aéreo y radicular de los vegetales de manera independiente. Estos servirán para hacer un análisis comparativo de los resultados esperados de acuerdo a la teoría con la realidad observada, dado que estos cambian según cada caso, de acuerdo a la combinación

determinada en un sistema planta-suelo-clima. Se extraerán cuatro ejemplares de cada especie por sector, con el respectivo suelo que subyace a la planta muestreada, para después redactar un informe con todos los resultados obtenidos durante el primer semestre.

Cumplido el primer ciclo anual de las especies, que correspondería al mes de abril del año 2021, se procederá a realizar la primera cosecha. Pero antes se llevará a cabo un muestreo utilizando los mismos parámetros descritos en el párrafo anterior.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante este primer año, se podrán proyectar los resultados del siguiente ciclo, y de este modo, determinar de manera más exacta la efectividad del plan de reparación del suelo afectado, por las empresas contaminantes del sector.

Si en el tercer ciclo anual siguen presentes valores de metales y metaloides en el suelo, sobre la norma canadiense, se continuará durante uno o dos años más.

VIII. CRONOGRAMA

Diciembre 2019

- Instalación del invernadero.

Enero 2020:

- Arado del suelo.
- Fertilización.
- Instalación del sistema de riego.
- Obtención de esquejes de Salicornia Neei y trasplante al invernadero.

Febrero 2020:

- Obtención de esquejes de Salicornia Neei y trasplante al invernadero.
- Monitoreo el crecimiento de los esquejes y remplazo del porcentaje de mortandad.
- Pruebas de germinación en el invernadero con semillas de Lolium Perenne.

Abril 2020:

- Trazado de cuadrícula en los sectores para el trasplante de esquejes.
- Trasplante de esquejes al área afectada.
- Siembra de semillas de lolium perenne en el área afectada.

Mayo 2020 – mayo 2023:

- Riego cada 2 días.
- Monitoreo del crecimiento de las plantas cada 15 días.
- Remplazo de las plantas que presenten signos de estancamiento en su crecimiento.
- Monitoreo y análisis de especies adventizas.
- Monitoreo del efecto de plagas.

Octubre 2020:

- Muestreo de biomasa y de suelo para envío a laboratorio.

Noviembre 2020:

- Informe con resultados del análisis de laboratorio.

Mayo 2021:

- Muestreo de biomasa y de suelo para envío a laboratorio.
- Cosecha de biomasa aérea.
- Envío de cosecha a lugar autorizado para ser tratada como residuo peligroso.

Junio 2021:

- Informe con resultados del análisis de laboratorio, evaluación de las medidas utilizadas, replanteamientos al plan de reparación y proyecciones.

Noviembre 2021:

- Muestreo de biomasa y de suelo para envío a laboratorio.
- Informe con resultados del análisis de laboratorio, evaluación de las medidas utilizadas, replanteamientos al plan de reparación y proyecciones.

Mayo 2022:

- Muestreo de biomasa y de suelo para envío a laboratorio.
- Cosecha de biomasa aérea.
- Envío de cosecha a lugar autorizado para ser tratada como residuo peligroso.
- Informe con resultados del análisis de laboratorio, evaluación de las medidas utilizadas, replanteamientos al plan de reparación y proyecciones.

Noviembre 2022:

- Muestreo de biomasa y de suelo para envío a laboratorio.
- Informe con resultados del análisis de laboratorio, evaluación de las medidas utilizadas, replanteamientos al plan de reparación y proyecciones.

Mayo 2023:

- Muestreo de biomasa y de suelo para envío a laboratorio.
- Cosecha de biomasa aérea.
- Envío de cosecha a lugar autorizado para ser tratada como residuo peligroso.
- Informe con resultados del análisis de laboratorio, evaluación de las medidas utilizadas, replanteamientos al plan de reparación y proyecciones.

Junio 2023:

- Finalización de la implementación del proyecto con retiro del sistema de riego y demás infraestructura instalada en el área de su ejecución.

Julio 2023:

- Informe final con los resultados definitivos del proyecto de reparación.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Cárcamo V. (2010) *Evaluación de la eficacia de diferentes enmiendas en la rehabilitación de suelos ácidos y contaminados con metales y metaloides en el valle del Puchuncaví, Región de Valparaíso*. Recuperado el 12 de Agosto de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112444>
- Contreras M., De Kartzow P., Figueroa R., Negrete J. (2015) *Informe Final. Diagnóstico de sitios de alto valor para la conservación en la Región de Valparaíso Línea 1, Portafolio del sitio Humedal de Los Maitenes*, Recuperado el 29 de agosto de 2019, de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/06/INFORME-FINAL-LOS-MAITENES-VOL-1.pdf>
- Contreras O. (2012) *Factibilidad Técnico-Económica de la Producción de Biodiesel a Partir de Salicornia, en la Región de Coquimbo*, Recuperado el 18 de Agosto de 2019, de https://www.gorecoquimbo.cl/gorecoquimbo/site/artic/20160422/asocfile/20160422194843/informe_final_proyecto_fic_2012_biosalic_uls.pdf
- Demanet R. *Manual de Especies Forrajeras y Manejo de Pastoreo*. Recuperado el 12 de Agosto de <http://www.consorciolechero.cl/chile/documentos/publicaciones/24junio/manual-especies-forrajeras-y-manejo-de-pastoreo.pdf>
- Figueroa R., Lillo C., Meza V., Rivera D., Soto E. (2018) *Sarcocornia neei as an Indicator of Environmental Pollution: A Comparative Study in Coastal Wetlands of Central Chile*, Recuperado el 29 de Agosto de 2019, de <https://doi.org/10.3390/plants7030066>
- Ginocchio R. (2000). *Effects of a copper smelter on a grassland community in the Puchuncaví Valley, Chile*.
- González M. (2016) *Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero*. Recuperado el 12 de Agosto de <https://www.tdx.cat/handle/10803/404215>
- Parra S. (2013) *Determinación del origen y mecanismo de contaminación por metales y metaloides en los suelos del valle de Puchuncaví (Chile)*. Recuperado el 18 de Agosto de 2019, de <http://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/181715>

- Pavez O., Sepúlveda B.A., Tapia M. (2012) *Fitoextracción de Metales Pesados Desde Relaves Utilizando Plantas de Salicornia Sp.*, Recuperado 10 de Agosto de 2019, de <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/280003.pdf>
- Pavez O., Sepúlveda B.A., Tapia M. (2013) *Uso de Salicornia Sp. En la Fitorremediación de Relaves*, Recuperado 10 de Agosto de 2019, de http://artigos.entmme.org/download/2013/tratamiento_de_efluentes_e_reciclagem-environment_recycling_and_waste_processing/2469%20-%20SEP%C3%9ALVEDA,%20B.A.-%20USO%20DE%20SALICORNIA%20SP.%20EN%20LA%20FITORREMEDIACI%C3%93N%20DE%20RELAVES.pdf
- Riffo C. (2016) *Transferencia de metales pesados Cu, Pb, Zn, Ni, Co y Cr desde un suelo de la comuna de Talcahuano a las plantas Salicornia y Lolium Perenne*. Recuperado el 18 de Agosto de 2019 de <http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/1020/Carol%20Riffo%20Estay.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

X. INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

- Estefanía Constanza Naeter Quiroz, Técnico en Geología y Control de Sondaje, Duoc UC, Valparaíso.

Correo electrónico: estefa.naeter@gmail.com

- Andrés Bautista Núñez Triviño, Técnico en Geología y Control de Sondaje, Duoc UC, Valparaíso.

Correo electrónico: andresnunezt@gmail.com

XI. ANEXOS



**INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 153.732
ANALISIS AGUA**



Productor : Luis Felipe Boisier Troncoso Eiri
Predio :

Empresa :
Remite : Andres Nuñez

Provincia : Valparaiso
Comuna : Puchuncavi
Localidad : Puchuncavi

Fecha muestreo : 05-08-2019 F. ingreso : 05-08-2019
Fecha análisis : 05-08-2019 F. informe : 19-08-2019

Pag 1/1

Identificación muestra	N° 8	Interpretación para Riego	
		Non1333	Agrónomico
		Limite máx	Riesgo de uso
N° de Laboratorio	40979	(1)	Ninguno Alto
pH	7,54	5,5 - 9,0	5,5 - 9,4
Sulfato (SO4) mg/l	144	250	
Otras determinaciones			
Arsénico (As) mg/l	0,02	0,10	
Cadmio (Cd) mg/l	0,01	0,01	
Cobre (Cu) mg/l	0,02	0,20	0,20
Plomo (Pb) mg/l	0,08	5,00	5,00
Zinc (Zn) mg/l	1,5	2,00	2,00

(1) Norma NCh1333-078 Modificada1997. Requisitos de calidad del agua para diferentes Usos. Parte 8: Requisitos del agua para riego.
(2) Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada elemento. En el caso de RAS, la autoridad competente debe establecerla en cada caso específico. Los elementos que figuran sin valor no se encuentran regulados en la norma.
(3) Clasificación del agua para riego según su salinidad de acuerdo a la norma NCh1333.



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Metodologías: pH,C. Electrica,Cl,NO3,NH4.Potenciometría Ca,Mg,Na,K,Fe,Mn,Zn,Cu, y otros metales A. Atómica P.B, SO4:Colorimetrico HCO3:Volumetría
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

Productor : Luis Felipe Boisier Troncoso Eirl
Predio :

Empresa :
Remite : Andres Nufiez

Provincia : Valparaiso
Comuna : Puchuncavi
Localidad : Puchuncavi

Fecha muestreo : 26-07-2019 F. Ingreso : 05-08-2019
Fecha análisis : 05-08-2019 F. Informe : 19-08-2019

Pag. 1/1

Identificación Cuartel	N° 1 Alto S	N° 2	N° 7
Profundidad muestreo(cm)	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.
N° de Laboratorio	214666	214667	214668
Elementos totales			
Azufre total (S) mg/kg	306	216	287
Zinc total (Zn) mg/kg	331	53	50
Cobre total (Cu) mg/kg	636	317	387
Arsénico total (As) mg/kg	13,2	3,46	3,48
Cadmio total (Cd) mg/kg	10,5	0,240	0,000
Plomo total (Pb) mg/kg	363	48,7	46,2

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



R. Espinoza
Rosa Espinoza Astudillo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica extracto saturado. Materia orgánica Walkley y Black. N Bremmer. P.Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int.KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura: Bouyoucos. D aparente terron con parafina. Retención humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

Productor : Luis Felipe Boisier Troncoso Eiri
Predio :

Empresa :
Remite : Andres Nuñez

Provincia : Valparaíso
Comuna : Puchuncavi
Localidad : Puchuncavi

Fecha muestreo : 26-07-2019 F Ingreso : 05-08-2019
Fecha analisis : 05-08-2019 F Informe : 19-08-2019

Pag. 1/1

Identificación Cuartel	N° 1 Alto S	N° 2	N° 7	Rango para Interpretación	
				Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.		
N° de Laboratorio	214666	214667	214668		
Salinidad					
pH (en extracto)	6,4	6,5	6,3	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m	0,50	0,36	1,7	< 2,0	> 4,0
RAAS (Relación Adsorción de Sodio)	1,2	0,9	1,3	< 10,0	> 15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)					
Calcio (Ca) meq/l	2,0	1,5	8,8		
Magnesio (Mg) meq/l	0,9	0,6	3,2		
Potasio (K) meq/l	0,16	0,17	0,85		
Sodio (Na) meq/l	1,4	0,66	3,3	< 5,0	> 30,0
Cloruro (Cl) meq/l	0,75	0,60	3,2	< 10,0	> 30,0
Sulfato (SO4) meq/l	2,4	1,3	6,7		
Bicarbonato (HCO3) meq/l	0,22	0,58	0,39	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)					
Calcio (Ca) mg/l	40	30	178		
Magnesio (Mg) mg/l	11	7	39		
Potasio (K) mg/l	6	7	33		
Sodio (Na) mg/l	32	22	76	< 115	> 700
Cloruro (Cl) mg/l	27	21	113	< 350	> 1000
Sulfato (SO4) mg/l	115	82	322		
Bicarbonato (HCO3) mg/l	13	35	24	< 240	> 500
Otros elementos solubles					
Boro soluble (B) mg/l	0,39	0,60	0,33	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones					
% Saturación (retención agua en pasta)	29	28	29		
Carbonato total (CaCO3)%	0,63	0,75	0,27	< 5,0	> 20
Caliza activa (CaCO3)%	0,25	0,25	0,25	< 2,5	> 10

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado



R. Rojas
Ej. Esp. Análisis
Site Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH, Cl, NO3, NH4 Potenciometría con electrodo específico, C. Eléctrica Conductivímetro, Ca, Mg, Na, K, Zn, Mn, Fe, Cu, y otros metales Absorción atómica, P, B. Colorimétrico, HCO3 titulación, SO4 Turbidimetría.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl



INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 153.731
ANÁLISIS SUELO



Productor : Luis Felipe Boisier Troncoso Eiri
Predio :

Empresa :
Remite : Andres Nuñez

Provincia : Valparaiso
Comuna : Puchuncavi
Localidad : Puchuncavi

Fecha muestreo : 28-07-2019 F Ingreso : 05-08-2019
Fecha análisis : 05-08-2019 F Informe : 20-08-2019

Pag. 1/1

Identificación Cuartel	N° 3 Alto S	N° 4	N° 5 Alto S	N° 6
Profundidad muestreo(cm)	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.
N° de Laboratorio	214669	214670	214671	214672
Metales totales				
Azufre (S) mg/kg	236	165	4745	406
Arsenico (As) mg/kg	24	3,4	26	4,1
Cadmio (Cd) mg/kg	24,7	0,028	10,6	0,508
Cobre (Cu) mg/kg	657	184	560	311
Zinc (Zn) mg/kg	405	50	278	55
Plomo (Pb) mg/kg	360	24,8	384	52,8

Equivalencias: C. Eléctrica: dS/m = mmhos/cm, Nutrientes: mg/kg = ppm, Cat. Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



R. Espinoza Astudillo
Sra. Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH en agua relación 1:2,5. C. Eléctrica: extracto saturado. Materia orgánica: Walkley y Black. N: Bremner, P: Olsen. K, Ca, Mg, Na: AaNH₄. Al int: KCl. C: C. AaNa. Fe, Mn, Zn, Cu: DTPA. B: agua caliente. Textura: Bouyoucos. D: aparente: teron con parafina. Retención humedad: Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente.

Productor : Luis Felipe Bolsier Troncoso Eirl
Predio :

Empresa :
Remite : Andres Nuñez

Provincia : Valparaíso
Comuna : Puchuncavi
Localidad : Puchuncavi

Fecha muestreo : 26-07-2019 F. Ingreso : 05-08-2019
Fecha análisis : 05-08-2019 F. Informe : 20-08-2019

Pag. 1/2

Identificación Cuartel		N° 3 Alto S	N° 4	N° 5 Alto S	N° 6
Profundidad muestreo(cm)		30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.
N° de Laboratorio		214669	214670	214671	214672
Fertilidad					
pH (agua, relación 1:2,5)		4,4 Fuert. Acido	5,8 Lig. Acido	5,3 Acido	5,3 Acido
C. Eléctrica (en extracto)	dSm	0,89 Sin Problema	0,25 Sin Problema	71,5 Fuert. Salino	0,69 Sin Problema
Materia orgánica	%	0,25 Muy Bajo	0,55 Bajo	0,59 Bajo	0,53 Bajo
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	20 Bajo	23 Medio	27 Medio	23 Medio
Fósforo disponible (P)	mg/kg	29 Adecuado	14 Medio	20 Adecuado	25 Adecuado
Potasio disponible (K)	mg/kg	104 Medio	66 Bajo	91 Bajo	120 Medio
Cationes Intercambiables					
Calcio (Ca)	meq/100g	4,2 Bajo	5,0 Bajo	7,4 Medio	3,4 Bajo
	% CIC	44	60	44	45
Magnesio (Mg)	meq/100g	1,9 Adecuado	2,6 Ato	4,1 Ato	1,00 Medio
	% CIC	20	31	24	13
Potasio (K)	meq/100g	0,27 Medio	0,17 Bajo	0,23 Bajo	0,31 Medio
	% CIC	2,8	2,0	1,4	4,1
Sodio (Na)	meq/100g	0,15 Bajo	0,16 Bajo	5,2 Ato	0,21 Bajo
	% CIC	1,8	1,9	31,0	2,8
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		6,5	7,9	18,9	4,9
CIC (Cap. Intercambio Cationico)	meq/100g	9,6	8,3	18,8	7,5
Microelementos disponibles					
Hierro (Fe)	mg/kg	57,1 Ato	19,3 Adecuado	64,2 Ato	39,8 Adecuado
Manganeso (Mn)	mg/kg	57,1 Ato	15,9 Ato	17,6 Ato	30,3 Ato
Zinc (Zn)	mg/kg	124 Adecuado	5,0 Adecuado	112 Adecuado	8,3 Adecuado
Cobre (Cu)	mg/kg	238 Excesivo	53,5 Excesivo	199 Excesivo	118 Excesivo
Boro (B)	mg/kg	1,00 Medio	0,48 Bajo	2,2 Ato	0,81 Medio

Equivalencias: C Eléctrica: dSm = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat. Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



R. Rojas
Ingeniero Agrónomo
Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
 - Metodologías: pH en agua relación 1:2,5. C. Eléctrica: extracto saturado. Materia orgánica Walkley y Black. N: Bremner. P: Olsen. K, Ca, Mg, Na, A: NH₄. Al: et. KCl. CIC: Actin. Fe, Mn, Zn, Cu: DTPA. B: agua caliente. Textura: Bouyoucos. D: aparente: terrón con parafina. Retención humedad: Placas de presión (Richards).
 - Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
 - Los resultados son válidos solo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente
- José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 226 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

INFORME DE RESULTADOS - N° Orden: 153.731
ANALISIS SUELO

 Productor : Luis Felipe Boisier Troncoso Eirl
 Predio :

 Empresa :
 Remite : Andres Nuñez

 Provincia : Valparaiso
 Comuna : Puchuncavi
 Localidad : Puchuncavi

 Fecha muestreo : 26-07-2019 F. ingreso : 05-08-2019
 Fecha análisis : 05-08-2019 F. informe : 20-08-2019

Pag. 2/2

Identificación Cuartel	N° 3 Alto S	N° 4	N° 5 Alto S	N° 6
Profundidad muestreo(cm)	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.	30 Cms.
N° de Laboratorio	214669	214670	214671	214672
Textura				
Arena (2.00 - 0.05 mm) %	71	82	64	65
Limo (0.05 - 0.002 mm) %	12	7	15	18
Arcilla (< 0.002 mm) %	17	11	21	17
Clase Textural	Fca. Arenosa	Arenosa Fca.	Fca. Arc. Arenosa	Fca. Arenosa
Granulometría Arena gruesa y fina				
Arena gruesa (2.00 - 0.50 mm) %	0	0	0	0
Arena fina (0.50 - 0.05 mm) %	71	82	64	65
Densidad aparente (terron) g/cc	1,61	1,68	1,46	1,55
Densidad real g/cc	2,72	2,69	2,73	2,68
Retención de humedad				
0,3 bar (Capacidad de Campo) %	8,9	5,7	11,5	10,1
15,0 bar (Pto. Marchitez Permanente) %	4,8	3,7	6,1	5,1
Humedad aprovechable (peso) %	4,1	2,0	5,4	5,0
Espacio Poroso				
Porosidad total %	41	38	47	42
Microporosidad %	14	10	17	16
Macroporosidad %	27	28	30	26


 R. Espinoza
 Jefe Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH en agua relación 1:2,5. C. Eléctrica extracto saturado. Materia orgánica Walkley y Black. N. Bremner. P. Olsen. K, Ca, Mg, Na, AcNH₄, Al mt. KCl. CIC. AcNa. Fe, Mn, Zn, Cu, DTPA. B. agua caliente. Textura Bouyoucos. D. aparente terron con parafina. Retención humedad Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente.

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

Productor : Luis Felipe Boisier Troncoso Eirl
Predio :

Empresa :
Remite : Andres Nuñez

Provincia : Valparaíso
Comuna : Puchuncavi
Localidad : Puchuncavi

Fecha muestreo : 26-07-2019 F. Ingreso : 05-08-2019
Fecha análisis : 05-08-2019 F. Informe : 20-08-2019

Pag 1/1

Identificación Cuartel	N° 3 Alto S	N° 4	N° 5 Alto S	N° 6	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	30 Cms	30 Cms	30 Cms	30 Cms		
N° de Laboratorio	214669	214670	214671	214672		
Salinidad						
pH (en extracto)	6,2	6,7	6,1	6,4	6,5-8,0	> 8,5
C. Eléctrica (en extracto) dSm	0,69	0,25	71,5	0,69	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio)	1,0	1,8	47	1,4	<10,0	>15,0
Cationes y aniones solubles (meq/l)						
Calcio (Ca) meq/l	3,6	0,8	26,9	3,1		
Magnesio (Mg) meq/l	1,8	0,5	199	1,6		
Potasio (K) meq/l	0,29	0,15	0,98	0,28		
Sodio (Na) meq/l	1,7	1,3	502	2,1	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l	0,70	0,70	619	1,1	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l	4,7	0,94	8,4	3,2		
Bicarbonato (HCO3) meq/l	0,26	0,42	0,40	0,37	< 4,0	> 8,5
Cationes y aniones solubles (mg/l)						
Calcio (Ca) mg/l	72	16	538	62		
Magnesio (Mg) mg/l	22	6	2418	19		
Potasio (K) mg/l	11	6	38	11		
Sodio (Na) mg/l	39	30	11546	48	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l	25	25	21944	39	<360	>1000
Sulfato (SO4) mg/l	228	45	403	154		
Bicarbonato (HCO3) mg/l	16	26	24	23	<240	>500
Otros elementos solubles						
Boro soluble (B) mg/l	0,28	0,26	1,4	0,50	< 1,0	> 3,0
Otras determinaciones						
% Saturación (retención agua en pasta)	29	30	26	33		
Carbonato total (CaCO3) %	0,75	1,00	0,63	0,50	<5,0	>20
Caliza activa (CaCO3) %	0,25	0,25	0,25	0,25	<2,5	>10

* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado



R. Rojas
Bosque Ingenieros Agrónomos
Soc. Laboratorio

Notas:

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH, Cl, NH₃/NH₄ Potenciometría con electrodo específico, C. Eléctrica Conductivímetro, Ca, Mg, Na, K, Zn, Mn, Fe, Cu, y otros metales Absorción atómica, P, B Colorímetro, HCO₃ titulación, SO₄ Turbidimetría.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 90 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl