

ESTUDIO Y PROPUESTA DE RECUPERACIÓN Y USOS DEL TERRENO “ISLA DE GASPAR”

Entregable N°2: Informe de Avance

El presente informe corresponde al entregable N°2 “Informe de Avance (sectorización y alternativas de remediación): Determinación de estabilidad y riesgo toxicológico de exposición, mapa de riesgos del área, necesidades de remediación”.



Octubre de 2017

CONTENIDO DEL INFORME DE AVANCE

1. ALCANCE DEL INFORME DE AVANCE.....	3
2. OBJETIVOS DEL INFORME DE AVANCE.....	3
3. RESUMEN DE TAREAS REALIZADAS	4
4. DESARROLLO DE ACTIVIDADES	5
5. CONCLUSIONES DEL INFORME DE AVANCE	38
6. ANEXOS.....	39

1. ALCANCE DEL INFORME DE AVANCE

En este Informe de Avance (sectorización y alternativas de remediación) se presentan los resultados de la determinación de la estabilidad y el riesgo toxicológico de exposición, mapa de riesgos del área y necesidades de remediación.

El área, con una superficie total aproximada de 123.200 m² (un poco más de 12 há), incluye el asentamiento Isla de Gaspar, las canchas de los clubes Huracán Buceo y Albión y su área inmediata.

Se presenta la información obtenida en los estudios hidrológicos complementarios, detalle y análisis de posibles nuevos contaminantes presentes en el terreno "Isla de Gaspar" (ej.: Hg), correspondientes a los trabajos de campo realizados en el terreno que se ubica entre la calle Isla de Gaspar al Este, las canchas de los clubes Huracán Buceo y Albión al Norte, la calle Larravide al Sur, y la calle Azara al Oeste y un mapa SIG con la información relevada.

Con los datos obtenidos de los estudios geofísicos complementarios, debido a la gran complejidad que existe en el subsuelo del predio, se ha hecho una consulta a una autoridad mundial en estudios de ondas Vs (de EE.UU) con quien estamos trabajando en la interpretación de los resultados.

2. OBJETIVOS DEL INFORME DE AVANCE

El Informe de Avance incluye la preparación del equipo técnico, coordinación y realización de los estudios:

"1- Informe de Avance (sectorización y alternativas de remediación): Determinación de estabilidad y riesgo toxicológico de exposición, mapa de riesgos del área, necesidades de remediación"

Los trabajos de campo para la elaboración del diagnóstico preliminar se realizaron entre el 15 de agosto y el 28 de setiembre de 2017.

Técnicos participantes: MSc. Aramis Latchinian, Arq. Rafael Perolo, Ing. Oreste Citadini, Ing. Ruggiero Curcio, Geol. Daniel Abelenda, Ing. Dahiana Dávila, Ing. Agr. Anibal Cuchman, Ing. Quim. Guaberto Trelles, Ph.D. Rosanna Ginocchio, Ph.D Maria Lis Yanes, Dr. Javier Mallet, Ing. Ciappesoni, Lic. Carla Benítez, Arq. Anrea Goires.

3. RESUMEN DE TAREAS REALIZADAS

Este documento resume la información obtenida de trabajos geofísicos, análisis de suelo superficial (físico y químico) y su estructura profunda (perforaciones), elaboración de propuesta de desagües de pluviales, definición de los riegos de contaminación de acuerdo a los datos y alternativas de remediación, fitorremediación y biorremediación del suelo. La propuesta de zonificación y la remediación necesaria para la totalidad del predio se completará con los datos de estabilidad en el informe final de la consultoría.

En la siguiente tabla se presentan sombreadas en celeste las tareas realizadas en esta etapa de la propuesta original:

	1.1 Plan de estudios actualizado y basado en antecedentes y consultas	1.1.1 Recopilar, organizar y analizar estudios, evaluaciones, mediciones y registros de la situación
		1.1.2 Realizar consultas en la zona y su área de influencia.
		1.1.3 Realizar inspección y descripción del suelo superficial
	1.2 Definición de los perfiles del suelo y subsuelo del área	1.2.1 Realizar estudios geofísicos para definición de las canteras originales
		1.2.2 Caracterizar los perfiles, la situación del suelo superficial, la ubicación del firme y la napa freática
		1.2.3 Realizar altimetrías y planialtimetrías
	1.3 Determinación del ciclo hidrológico del predio	1.3.1 Realizar un relevamiento y graficación de todo el sistema hídrico del predio
		1.3.2 Estudiar las viabilidades de conectar desagües al saneamiento
	1.4 Zonificación de las aptitudes para construcciones y uso recreativo	1.4.1 Identificar los lugares estables
		1.4.2 Identificar los lugares inestables o de baja estabilidad
	2.1 Identificación y caracterización de contaminantes	2.1.1 Diseñar un muestreo y realizar el análisis de suelos
		2.1.2 Identificar y describir los contaminantes problema
		2.1.3 Realizar un mapa de dispersión de los contaminantes problema
	2.2 Evaluación del riesgo de exposición a los contaminantes	2.2.1 Realizar una caracterización toxicológica de los contaminantes problema

	problema	2.2.2 Realizar un mapa de riesgos de exposición a los contaminantes problema
	3.1 Plan de mejora de las aptitudes de uso y mejora de estabilidad del predio	3.1.1 Desarrollar propuesta de desagües del predio y de conexión a saneamiento
		3.1.2 Desarrollar propuesta de movimientos de tierra y reuso de materiales
	3.2 Plan de remediación integrado del predio	3.2.1 Desarrollar alternativas de sustitución, aislación y/o confinamiento
		3.2.2 Desarrollar propuestas de fitorremediación
		3.2.3 Desarrollar propuestas de biorremediación microbológica
	3.3 Definición de las condiciones de aptitud para usos recreativos	3.2.4 Desarrollar propuestas de zonificación
		3.2.5 Desarrollar indicadores y plan de seguimiento

4. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

El cronograma de realización de las actividades previstas para este segundo informe (trabajos de campo) debió ser modificado por la cantidad de días de lluvia del mes de setiembre.

Se pudo comprobar presencia de gas metano en la perforación B.

Actividad 1.2.2 Caracterizar los perfiles, la situación del suelo superficial, la ubicación del firme y la napa freática

A los efectos de determinar y confirmar la conformación del subsuelo y la napa freática, se realizaron 4 perforaciones complementarias en el predio:

Pozo A	21 H 579479 6139917
Pozo B	21 H 579495 6140092
Pozo C	21 H 579634 6140103
Pozo D	21 H 579630 6139798



Coordenadas WGS84 y UTM de los Pozos de Estudio

Las perforaciones fueron realizadas por la empresa de Perforaciones Chiappesoni mediante el método de rotación mediante la inyección de aire comprimido. Las perforaciones se realizaron en 6 pulgadas y fueron entubadas a los efectos de servir para monitoreo.

La parte superior de los pozos fue cerrada a los efectos de evitar su vandalización.

Descripción de Pozo A



- 0 - 3 m Limo arcilloso color marrón oscuro.
- 3 - 4 m Limo arcilloso con abundante presencia de materia orgánica, color marrón muy oscuro.
- 4 - 6 m Limo arcilloso con presencia de materiales heterogéneos, madera, cartón, etc., color negro.

Descripción de Pozo B



- 0 - 3 m Limo arcilloso, presencia de suelo y materia orgánica, color marrón oscuro.

- 3 - 5 m Limo arcilloso con presencia de arena fina, cuarzosa, bien seleccionada y trozos de feldespato rosado sub anguloso de algunos milímetros, color marrón claro.

- 5 - 17 m Lodo heterogéneo con abundante presencia de materia orgánica, nylon, rellenos probablemente provenientes de residuos domiciliarios, latas, etc., color negro.



Restos de residuos domiciliarios de la muestra compuesta entre los 5 y 17 m

- 17 - 19 m Molido fino Roca granítica, Cuarzo Feldespato, mica y escasos minerales opacos. Color marrón grisáceo.
- 19 - 24 m Molido fino de basamento cristalino de origen granítico Cuarzo Feldespato, mica y escasos minerales opacos. Color marrón grisáceo.

Descripción de Pozo C



- 0 - 1 m Limo arcilloso con presencia de suelo, color marrón oscuro.

- 1 - 9 m Limo arcilloso color marrón, posible formación Libertad. Color marrón.
- 9 - 10 m Molido fino de basamento cristalino muy alterado, con presencia de algo de arcilla intersticial. Color marrón.
- 10 - 12 m Molido fino de rocas de origen granítico, compuesto por cuarzo, feldspatos, mica y escasos minerales opacos. Color Marrón.
- 12 - 14 m Roca cristalina más fresca, compuesto por cuarzo, feldspatos, mica y escasos minerales opacos. Color Marrón.

Descripción del Pozo D



- 0 - 1 m Limo Arcilloso, con presencia de balasto, probablemente de la calle. Color marrón.
- 1 - 3 m Limo arcilloso con presencia de materia orgánica y residuos domiciliarios, plásticos material de construcción, color marrón muy oscuro.

3 - 7 m Limo arcilloso con presencia de materia orgánica y rellenos heterogéneos muy probablemente provenientes de residuos domiciliarios, plásticos material de construcción, etc., color negro.

Nivel estático de los pozos:

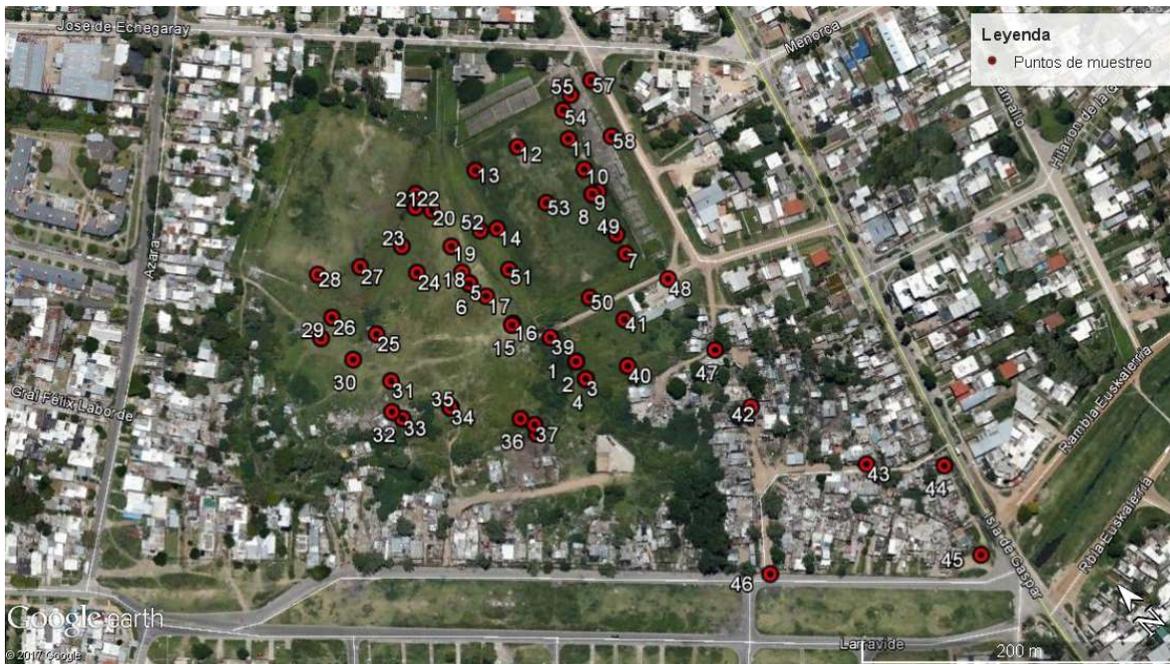
POZO	NIVEL DE AGUA
A	36,71
B	42,93
C	43,43
D	33,47

Los gradientes hidráulicos indican que el flujo sub superficial va en dirección N-S (niveles medidos el 05/10/2017).

Suelo superficial: permeabilidad y estructura

Para realizar la caracterización de la permeabilidad y estructura del suelo superficial se tomó como referencia las dos canchas de fútbol y las 5 áreas delimitadas como canteras antiguas rellena de residuos domiciliarios e industriales.

Se tomaron 58 muestras superficiales con un que definieron 5 zonas de suelo superficial en el predio:



- Área I: la zona de la cantera ubicada debajo de la cancha de Huracán Buceo
- Área II: la zona de la cantera que comprende la cancha del Albion
- Área III: la zona que comprende la explanada alta al sur de la cancha del Albion, la zona de pendientes pronunciadas y humedal al sur
- Área IV: la zona de la cantera de 1945, al sur de la cancha de Huracán Buceo
- Área V: el área del bajo, ubicada sobre la calle Isla de Gaspar y Larravide.

Los muestreos se realizaron con taladro holandés tipo mecha para determinar la variación de estructura. El análisis de las muestras trató de determinar la permeabilidad de las capas superficiales (horizontes A y B):



La vegetación, pendiente, dureza y estructura determinaron la distribución de los puntos de muestreo.

En general se pudo inferir que los suelos superficiales del asentamiento son formados a partir de movimientos de tierra y aportes recientes, no encontrándose en ningún lugar suelos originales.

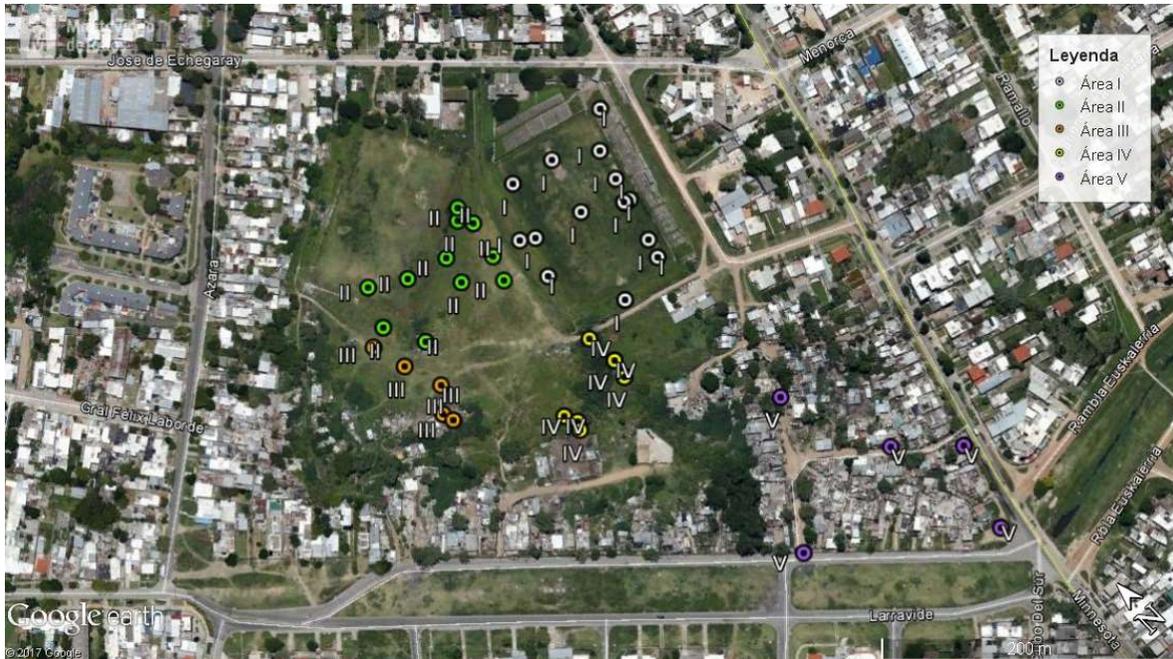
Todas la muestras presentaron una alta concentración de arcilla. Es posible que los horizontes A (con materia orgánica humificada) fueron utilizados para otros fines y luego se esparcieron sobre las canteras de residuos las fracciones de los horizontes B texturales (característicos de esta zona) o C superficiales, con alta concentración de arcillas.

Se encontró una buena y muy buena permeabilidad en las zonas altas. Esto permite el crecimiento de una flora de alto porte, sin peligro de caídas de árboles (en las zonas no pertenecientes a las canteras profundas).

En el Área I y en la zona de la cancha de Huracán Buceo se encontró un drenaje moderado con factibilidad de mantener pasturas perennes de buen arraigamiento,

excepto en el punto bajo de hundimiento (con presencia de totora en la tribuna), zona que necesita la implementación de drenajes superficiales de escurrimiento.

Toda la parte alta que rodea la cancha de Huracán Buceo está conformada por aportes de tierra que pueden ser removidos y modificados con relativa facilidad en épocas en que el suelo esté friable (suelo húmedo, pero sin llegar a estar saturado). La tribuna sobre Juan José Castro esta rellena en su parte exterior con escombros de fracciones mayores, lo cual requiere tomar precauciones para su remoción.



La zona sur exterior a la cantera I, incluyendo la parte alta del área IV tiene algunas rocas de gran porte que puede dificultar su movimiento.

La zona alta comprendida entre las áreas I, II, III y IV es la zona más apropiada para cultivar arboles de gran porte.

El Área II es una zona con dificultades por ser anegable en su mayor parte y con baja permeabilidad de los suelos, aunque si se le confiere un buen drenaje superficial, es posible la instalación de pasturas y plantas adaptadas a largos periodos de anegamiento. En las muestras más profundas se observa, por su coloración, estados reducidos (desde el punto de vista químico) y por lo tanto con poca disponibilidad de intercambio gaseoso.

Las Áreas III y IV, en la zona más alta, están en general bien drenadas y tiene como limitante aquellos lugares de depósitos de residuos domiciliarios recientes (de menos de 10 años) que merecen un tratamiento diferente.

Las zonas bajas de las canteras III y IV tienen lugares que se comportan como humedales, aunque la mayoría está cubierto con restos de residuos plásticos, entre otros, lo que hace inviable su uso agronómico en esas condiciones. Se debería retirar la capa de residuos e implantar humedales, o rellenar con tierra y sembrar especies con tolerancia a largos periodos de anegamiento.

El Área V es la zona en general con mayores limitantes agronómicas, pues las capas superficiales son básicamente de restos domiciliarios con aportes de pedregullo en las calles para consolidar los caminos. Para encontrar alguna capacidad de cultivo (enjaminado) se necesita buscar áreas de implantación para mejorar las condiciones del suelo, aunque ya se observan algunas especies de árboles y arbustos en crecimiento.

Actividad 1.4.2 Identificar los lugares inestables o de baja estabilidad

En los ensayos geofísicos realizado en la primera etapa, la mayoría de las TE detectaron capas que evidencian un subsuelo en estado cercano a la licuefacción, que se comportaba casi como un líquido. Se encontraron capas de resistividad bajísima que coincidían con esa posibilidad.

Para determinar con mayor precisión la estabilidad del subsuelo a los efectos de establecer condiciones de construcción y/o instalación de equipamiento en el predio, se realizaron 10 perfiles sísmicos para determinar las velocidades de las ondas de corte V_s que pueden ser interpretados como MASW 2D o como REMI 2D (dependiendo del proveedor de software), ambos interpretan ondas sísmicas superficiales de Rayleigh, obteniéndose V_s , lo que da como resultado la rigidez del subsuelo en función de la profundidad.

A partir de los resultados de estas tomografías 2D es posible calcular parámetros elásticos dinámicos para tener en cuenta en los trabajos de movimientos de suelos y sobre todo de construcción.

Las velocidades de las ondas de compresión V_p obtenidas fueron muy bajas para la capa superficial y disminuyen entre ésta y la roca y las velocidades de la onda de corte V_s son realmente muy bajas y compatibles con los suelos en estado de licuefacción.

La ubicación fue acordada con las autoridades de la Intendencia de Montevideo.

Estudios de Ondas Sísmicas Superficiales de Rayleigh para la determinación de Vs

Se realizaron 10 líneas distribuidas en el área de estudio.

De común acuerdo con el Comitente se realizaron 4 líneas en el sector Sur Este y las otras 6 líneas en zonas de interés para confirmar datos de la campaña anterior y obtener parámetros físicos que permitan el cálculo de la compacidad del subsuelo



El estudio consistió en aplicar una técnica de campo similar a la sísmica de refracción, con su mismo equipamiento y sensores y realizar el análisis espectral de ondas

superficiales para lograr de este modo la determinación de la rigidez del subsuelo mediante la determinación de la velocidad de la onda de corte (V_s) con la profundidad.

Los estudios sísmicos de onda V_s son muy modernos y se presentan con diferentes nomenclaturas dependiendo del desarrollador del software.

El principio de la metodología, tanto para su técnica de fuente activa o su técnica de fuente pasiva está asociado al carácter dispersivo de las ondas de Rayleigh cuando atraviesan un medio estratificado. La dispersión ocurre cuando para distintas frecuencias las ondas viajan a diferentes velocidades, de tal modo que a menor frecuencia mayor profundidad de investigación. De este modo es posible, analizando rangos de frecuencia típicos, definir las V_s del terreno a varias profundidades.

En resumen, la exploración mediante ondas superficiales consiste en medir la velocidad de fase de las ondas sísmicas de superficie, en este caso la onda de Rayleigh, para diferentes longitudes de onda. Estas medidas se usan para estimar la curva de dispersión del lugar estudiado y se puede calcular por inversión matemática la velocidad de fase de dispersión de las ondas superficiales.

Usando el análisis armónico es posible mapear la relación velocidad de fase versus frecuencia y determinar la V_s en función de la profundidad.

Se realizaron 10 líneas sísmicas para determinar V_s .

Se trabajó con tendidos de 24 receptores (geófonos de 4.5 hz), llamados dispositivos sísmicos de 24 canales, ubicados en línea con espaciamiento de 3 m. Se registraron y midieron los tiempos de llegada a esos receptores de los impulsos sísmicos provocados por perturbaciones realizadas mediante una maza, ubicada en los extremos del dispositivo y también se realizaron registros del ruido ambiental.

En todos los perfiles se aplicaron técnicas activas y pasivas a los efectos de asegurar la recepción de un gran espectro de ondas superficiales.



Existen dos métodos de interpretación de los datos obtenidos mediante perfiles de ondas superficiales para calcular V_s y son los estudios mediante las técnicas activas y pasivas, entre los primeros están las técnicas MASW (Multi-canal análisis de ondas superficiales) y REMI (Registro de microtemblores). Ambos persiguen el mismo objetivo y dan resultados similares.

Para el método MASW y REMI activos se registran y miden los tiempos de llegada a esos receptores de los impulsos sísmicos provocados por impactos mediante una maza de 6.5 kg, empleando sumación (apilamiento) de señales sin llegar a saturar, con un intervalo de muestreo de 2 miliseg y longitud del registro de 32 seg, teniéndose de este modo una amplia gama de registros para elegir los de mejor respuesta del subsuelo para ese ambiente geológico en particular.

En el caso de los registros MAM (Multi-canal análisis de microtemblores), de fuente pasiva, el sismógrafo registra las vibraciones ambientales generadas por ruido cultural, el tráfico, las fábricas, el viento, el movimiento del oleaje, etc., se obtienen más de 20 registros por Perfil con una duración de 32 seg cada uno y un intervalo de muestreo de 2 mseg.

Para la investigación mediante Perfiles 2D de la velocidad de la onda de corte V_s mediante el método MASW y REMI activo, se registran y miden los tiempos de llegada a esos receptores de los impulsos sísmicos provocados por impactos mediante una maza de 6.5 kg, con una separación, en general, de 3 m hacia fuera de ambos extremos del perfil sísmico y en todos los puntos medios entre geófonos obteniendo en general una energización cada 3 m a lo largo del dispositivo sísmico si los geófonos están separados cada 3 m. El intervalo de muestreo es de 2 mseg y la longitud del registro de 32 seg.

Conclusiones parciales:

Las velocidades de las ondas de compresión V_p obtenidas son muy bajas para la capa superficial y disminuyen entre ésta y la roca.

Las velocidades de la onda de corte V_s son realmente muy bajas y compatibles con los suelos en estado de licuefacción.

De acuerdo a la gran complejidad que existe en el subsuelo del predio se ha hecho una consulta a una autoridad mundial en estudios de ondas V_s de EE.UU (con quien estamos trabajando en la interpretación de los resultados).

Actividad 2.2.1 Realizar una caracterización toxicológica de los contaminantes problema

En base a los contaminantes hallados en los análisis de suelo, se destacan niveles de plomo, cromo y cobre por encima de la normativa vigente en zonas del predio. Estos resultados nos permiten inferir que el suelo no se encuentra apto para vivienda en algunos sectores. Luego de un plan de remediación eficaz, puede estar apto para uso recreacional.

Se deberá enfatizar en la prevención de exposición en los trabajadores durante el proceso de remediación, disminuyendo la generación de polvos y nieblas mediante procesos húmedos, extremando las medidas de higiene personal y la utilización de equipos de protección personal adecuados.

El estudio de indicadores de exposición a contaminantes metálicos debe estar dirigido a la población más vulnerable, entre 0 - 15 años y embarazadas, así como también a trabajadores vinculados a las tareas de remediación del sitio.

De acuerdo a los hallazgos del muestreo inicial, en este informe se tuvo en cuenta la peligrosidad de la sustancia involucrada, la dosis y el tiempo de exposición de los siguientes contaminantes:

1. Plomo
2. Cromo
3. Cobre
- 4.

El ingreso al organismo de los metales citados se realiza a fundamentalmente a través de la vía inhalatoria y digestiva.

Contaminación por Plomo

Las mediciones de Pb en suelo nos muestran lugares con concentraciones elevadas y por encima del umbral aceptable para vivienda. Considerando que el predio no será utilizado a tal fin, se evalúa la exposición para un espacio recreacional.

El Plomo no es un elemento esencial para la actividad de los sistemas biológicos y la exposición al metal debe ser siempre la menor posible.

El efecto del Plomo en el organismo humano permite concluir que los niños, especialmente los menores de 6 años son el grupo de mayor riesgo. En comparación con los adultos, los niños captan más Plomo sobre una base de unidad de peso corporal; absorben más, tanto a nivel digestivo como respiratorio y también retienen una mayor

proporción del Plomo absorbido.

Por otro lado, el niño representa la etapa del desarrollo metabólicamente más vulnerable del ciclo vital ante los efectos del metal, especialmente respecto a los sistemas nervioso y óseo. Inciden además condiciones de deficiencias nutricionales que favorecen la absorción digestiva del Plomo. El riesgo es también alto entre las mujeres embarazadas y las mujeres en edad de concebir porque el plomo que ingiere la madre afectará al feto.

El Plomo inorgánico penetra en el organismo por la vía respiratoria y/o a través del aparato digestivo y a medida que la absorción va aumentando, se deposita en los huesos, como trifosfato plúmbico desplazando al calcio óseo. Cuando es ingerido, una gran parte pasa a través del intestino sin ser absorbido y se elimina por las heces. Luego de absorbido pasa al hígado y se excreta en parte por la bilis. Por ello son necesarias mayores cantidades de plomo para causar efectos por esta vía o bien un mayor período de exposición.

A través de la vía respiratoria la absorción es mayor si los polvos inhalados están en un fino estado particulado (partículas de menos de 5 micras). Los síntomas tienden a desarrollarse más rápidamente por esta vía que por absorción digestiva.

La intoxicación por plomo afecta casi todos los órganos y sistemas del cuerpo.

La exposición por tiempo prolongado determina en niños alteraciones neurológicas y neuro comportamentales, así como en el neurodesarrollo y una disminución del nivel intelectual, crecimiento lento y una menor estatura. La intoxicación en adultos fundamentalmente en el área ocupacional puede generar cuadros denominados saturnismo.

No existen dosis de referencia para plomo, por consiguiente, para definir su probabilidad de riesgo, considero utilizar el valor de 250 mg/kg en suelo para uso recreacional.

La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) dependiente de la OMS clasifica al Plomo en categoría 2B como posible carcinógeno en humanos.

Contaminación por Cromo

El cromo es un elemento que ocurre naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos. Las tres formas principales del cromo son: cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Pequeñas cantidades de cromo (III) son necesarias para mantener buena salud.

Se puede encontrar cromo en el aire, el suelo y el agua después de ser liberado por

industrias. Generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua, puede cambiar de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones presentes.

Se absorbe fundamentalmente por vía inhalatoria y digestiva y en menor cantidad a través de la piel.

El cromo (VI) es transformado a cromo (III) en el organismo. La mayor parte del cromo se elimina por la orina en aproximadamente una semana, aunque parte puede permanecer en las células durante años.

La mayor repercusión en la salud en población expuesta involucra a las vías respiratorias. Estos efectos incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, dificultad respiratoria (asma, tos, disnea). Se describe en trabajadores expuestos alergias a compuestos de cromo. Las concentraciones de cromo en el aire que pueden producir estos efectos pueden ser diferentes para los diferentes tipos de compuestos de cromo. Así, estos efectos ocurren con concentraciones de cromo (VI) mucho más bajas que de cromo (III). Las concentraciones que causan problemas respiratorios en trabajadores son por lo menos 60 veces más altas que los niveles que se encuentran normalmente en el ambiente.

No hay establecida una dosis letal media en seres humano para este agente.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos Clase I en seres humanos, y su TLV-TWA es de 0.05 mg/m para este compuesto. Para la forma trivalente el TLV-TWA es de 0.5 mg/m.

Compuestos con cromo hexavalente han demostrado ser responsables de efectos mutagénicos a nivel bacteriano y de aberraciones cromosómicas en estudios experimentales de células de mamíferos. En seres humanos expuestos en la producción de sales de cromo se encontraron aberraciones cromosómicas a nivel linfocitario.

Contaminación por Cobre

Los compuestos de cobre pueden ser tóxicos por vía inhalatoria, digestiva y/o cutánea. Las sales de cobre son particularmente irritantes.

Por vía digestiva elementos irritativos tales como náuseas y vómitos son los síntomas prevalentes y por vía cutánea se describe irritación, eczema, dermatitis de contacto y reacciones de hipersensibilidad.

Se absorbe vía gastrointestinal y una vez absorbido es transportado al hígado unido a la albumina sérica, es eliminado principalmente por las heces. La toxicidad bioquímica del

cobre cuando excede su homeostasis endógena, deriva de los efectos sobre la estructura y función de la membrana celular, el DNA y proteínas tanto directamente como a través de la formación de radicales de oxígeno.

El efecto irritante ocular es intenso frente a una exposición directa, por lo que puede causar severo daño ocular.

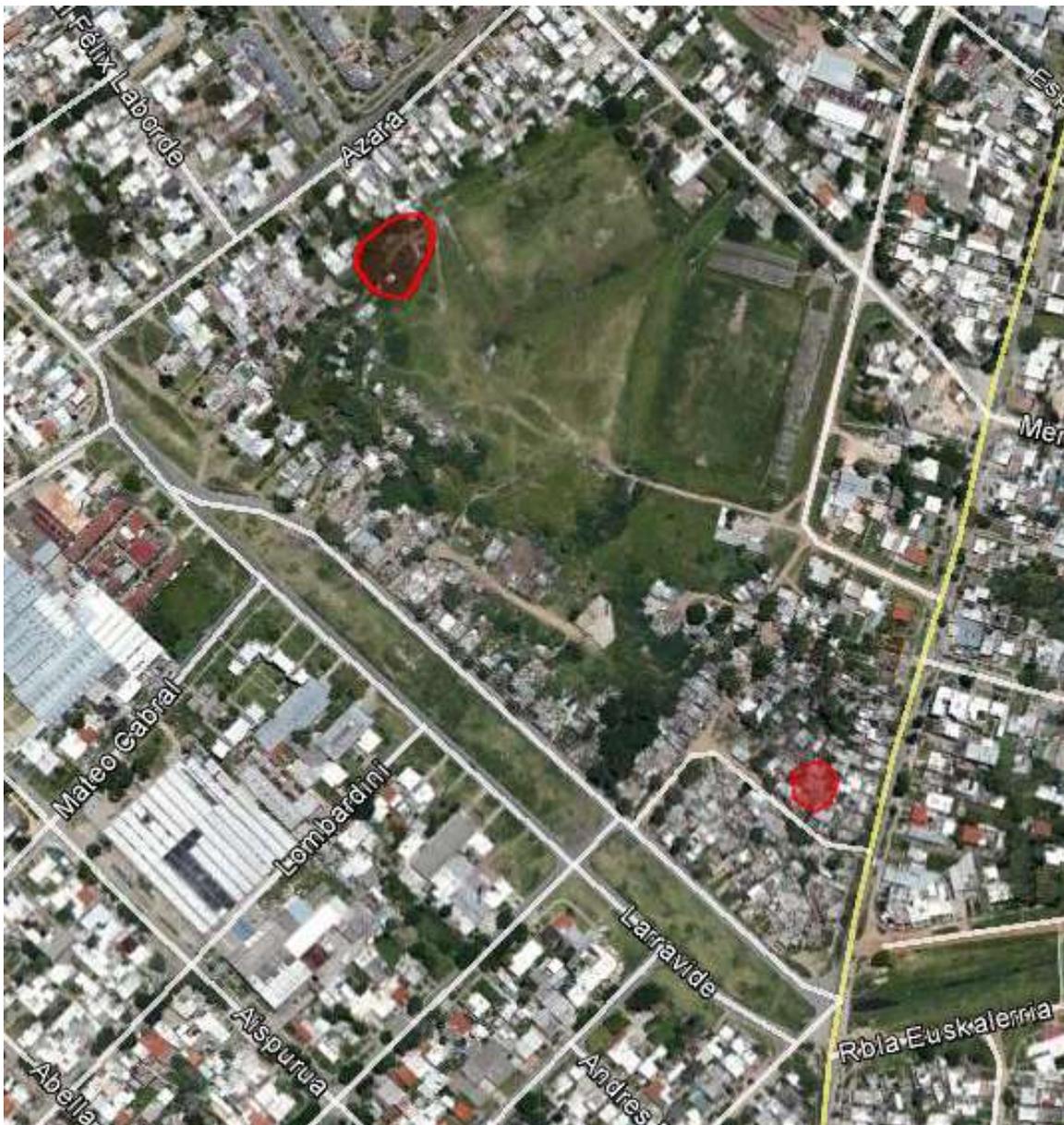
La exposición por vía inhalatoria a polvos conteniendo cobre puede ocasionar signos de irritación de la mucosa respiratoria superior con ardor nasal, tos y odinofagia. Las manifestaciones de exposición dérmica u ocular están dadas por irritación de grado variable, pudiendo causar dermatitis de contacto e inflamación ocular, reversible luego de cesada la exposición.

Ante exposición crónica, el daño está referido fundamentalmente al efecto irritativo repetitivo sobre piel y mucosas. Dermatitis de contacto de tipo eczema irritativo puede ocurrir en trabajadores expuestos. La EPA considera a las sales de cobre en el grupo D: No clasificable como cancerígeno. No hay evidencia de efecto teratogénico.

Si bien la IARC no lo tiene listado como cancerígeno existe variada información con respecto al aumento de la incidencia de cáncer del tracto respiratorio en poblaciones expuestas por tiempo prolongado a sales de cobre. Para polvos y nieblas que contengan sales de cobre se establece un TLV-TWA de 1 mg/m.

Actividad 2.2.2 Realizar un mapa de riesgos de exposición a los contaminantes problema

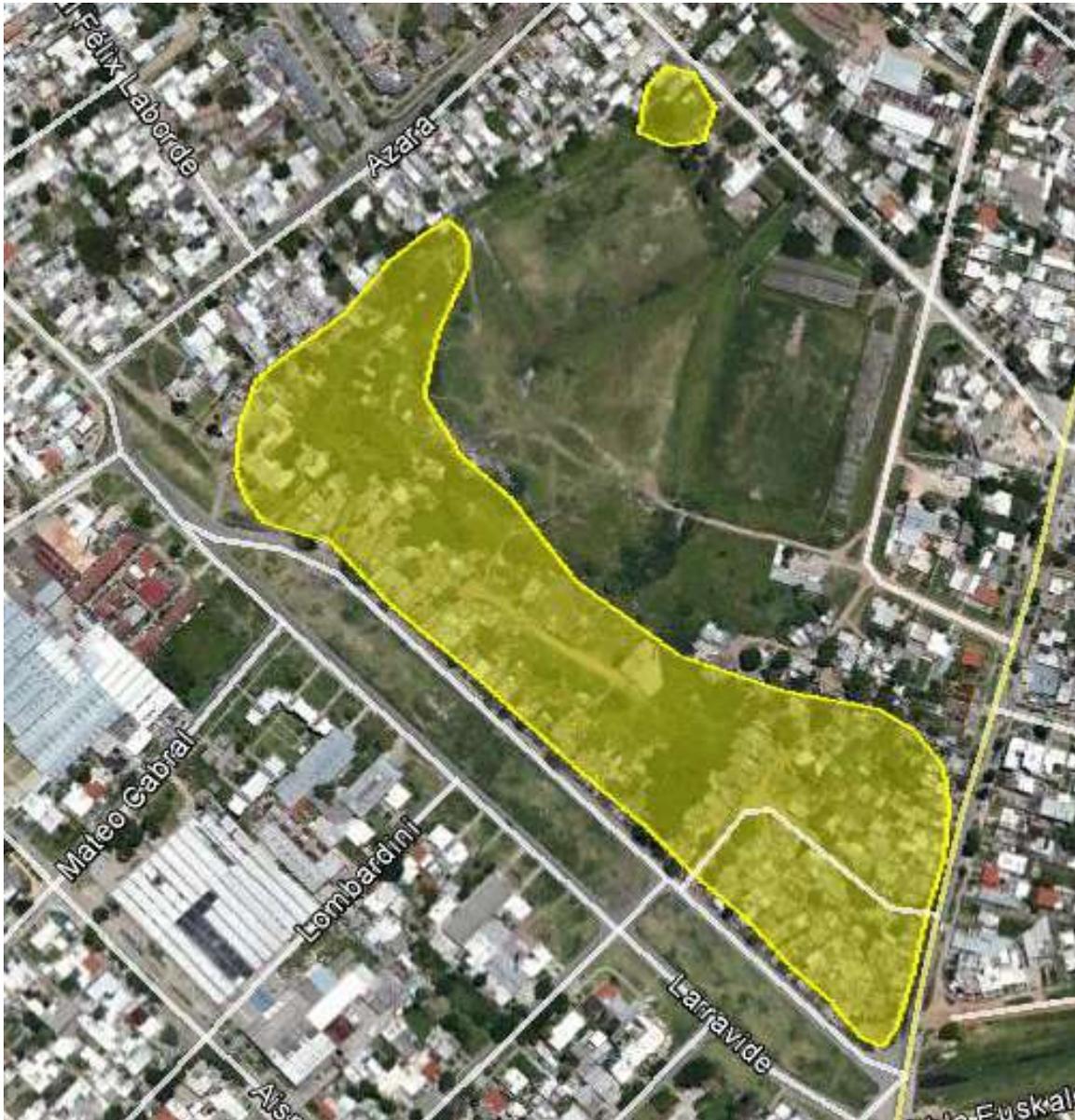
De acuerdo a un primer análisis de riesgos, teniendo en cuenta los análisis químicos del suelo superficial y la toxicidad de los contaminantes encontrados, se puede comprobar que el predio presenta problemas de contaminación de riesgo alto (que requieren medidas de remediación de alta eficacia) en dos zonas, de unos 1.600m² y 600 m² respetivamente:



Zonas consideradas de riesgo "alto" teniendo en cuenta la toxicidad del contaminante y el riesgo de exposición.

Por otro lado, una extensa zona de unas 5 há y otra más pequeña de 600 m² sobre la calle Menorca, presenta riesgo intermedio debido a la presencia de metales pesados (Pb, Cu, Zn, Cr).

Esa situación puede derivar de los residuos sólidos (basura que se degrada) presentes actualmente en la superficie y de las aguas de lluvia de lavado superficial provenientes de las zonas altas del predio, que arrastran partículas de suelo desde los puntos de quema de cables (conteniendo cenizas ricas en metales) y de los basurales endémicos y transitorios, además de lixiviados históricos generados por la basura acumulada en profundidad (que pueden haber drenado hacia las partes más baja del predio).



Zonas consideradas de riesgo "medio" teniendo en cuenta la toxicidad del contaminante y el riesgo de exposición.

Los procesos de escurrimiento superficial de las aguas (y el material particulado de arrastre) son privilegiados por sobre la infiltración, debido a las características del suelo (compactado). Debido a la baja pendiente de la zona Sur del predio y la falta de conexión de los drenajes acumulados en las zonas bajas, se supone que los metales presentes en las aguas de drenaje y/o lixiviados se vayan quedado acumulados en los suelos superficiales. Se propone un desagüe pluvial del terreno.

Esta zona deberá ser tratada con medidas de remediación (biorremediación) de eficacia media o resultados a largo plazo (color amarillo)

Actividad 3.1.1 Desarrollar propuesta de desagües del predio y de conexión a saneamiento

Se presenta una propuesta para el desagüe pluvial del terreno "Isla de Gaspar" indicando conceptualmente una posible solución a los desagües pluviales del predio, basada en el análisis del patrón del escurrimiento superficial previamente realizado.

En el esquema propuesto no se toma en cuenta la presencia del asentamiento que actualmente se sitúa en el terreno, suponiendo que el predio está desprovisto de calles.

A partir del análisis realizado se considera propicia la acumulación de los escurrimientos en el vértice sur del predio por tratarse de la zona más baja del terreno y hacia donde escurren gran parte de las aguas.

Para captar la totalidad del escurrimiento del predio deberán realizarse obras de conexión entre las áreas que no escurren de forma natural hacia el sur del predio: las zonas Cancha Albión y Vértice Norte.

Las acciones propuestas consisten en la conexión de zonas del terreno de manera de posibilitar la conducción de las aguas hacia un punto del predio, desde el cual se efectuaría la conexión al sistema de saneamiento existente.

En ese lugar también se realizaría el tratamiento de las aguas, en caso de que el mismo fuera necesario, previo a su vertido al sistema de saneamiento.

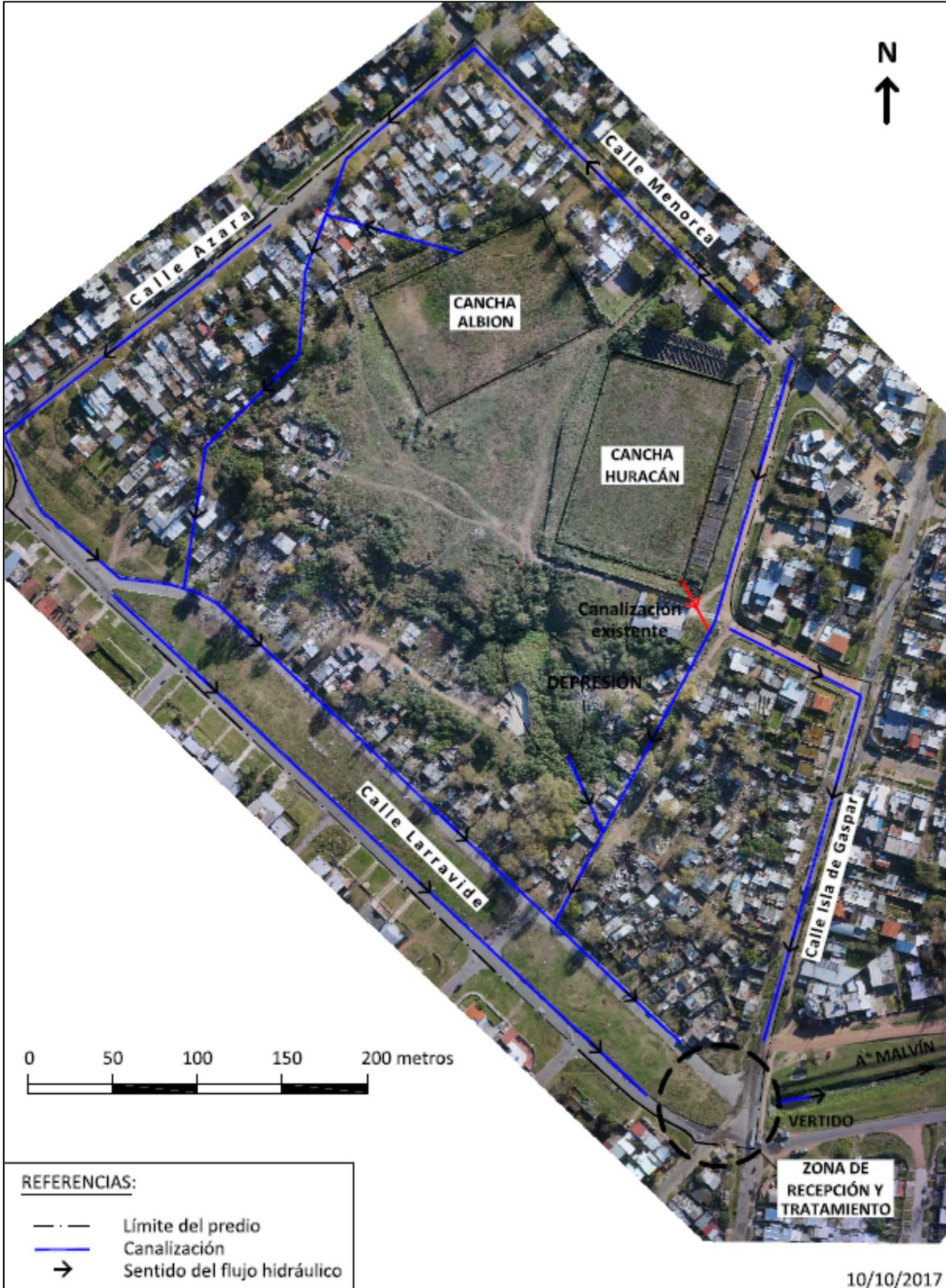
Se propone la recolección de las aguas en el vértice sur del predio, en la intersección de las calles Larravide e Isla de Gaspar, hacia donde escurren de forma natural el 70% de las aguas superficiales del predio. Este sector también posee la ventaja de situarse inmediato al arroyo Malvín, pudiendo ser ese curso el receptor de las aguas.

La topografía del terreno posibilita el vertido hacia el arroyo por gravedad.

Para captar la totalidad del escurrimiento del predio deberán realizarse obras de conexión entre las áreas que no escurren de forma natural hacia el sur del predio. Esta medida, además de permitir la recolección de la totalidad de las aguas, permitiría el drenaje de ciertas zonas que actualmente quedan anegadas.

Se proponen las trazas de canalizaciones que permitirán la conexión hidráulica de la totalidad de la superficie del predio y la conducción de las aguas hacia la zona de

recepción y posterior vertido. Se adjunta un plano indicando las canalizaciones propuestas y la zona de recolección y vertido.



Propuesta de desagüe pluvial. Esquema conceptual para el predio.

Actividad 3.1.2 Desarrollar propuesta de movimientos de tierra y reuso de materiales

Existe en el predio cierta cantidad de material, seguramente proveniente de las canteras originales, que puede ser reusado para procesos de nivelación y/o cubierta de superficies con cierto grado de contaminación por metales pesados.

Las condiciones y disponibilidades de este tipo de material, así como también las condiciones de estabilidad del terreno, serán detalladas en el siguiente informe con el análisis de los datos geofísicos completos, que a su vez permitirán una aproximación mayor a las tareas necesarias de movimiento de tierra y/o reuso de los materiales existentes en el predio.

Actividad 3.2.1 Desarrollar alternativas de sustitución, aislación y/o confinamiento

Para establecer la factibilidad de uso de metodologías para la remediación de áreas contaminadas identificadas en el terreno, se trató de determinar si alguna de las metodologías disponibles constituye la forma de remediación más adecuada para el sitio de interés, con énfasis en suelos superficiales degradados y considerando tanto aspectos técnicos (ej. tipos y concentraciones de contaminantes, especies vegetales disponibles, características hidrológicas, topográficas y climáticas del sitio, entre otros).

Los análisis químicos del suelo superficial indican que no existe contaminación del predio con contaminantes orgánicos (todos los valores se encuentran por debajo de la norma EPA-Canadá) y que la concentración de contaminantes metálicos (Pb, Cr, Ni, Zn, Cu) es baja.

Las muestras analizadas sobre el cantero de la calle Larravide no presentaron valores de metales pesados por encima de los estándares considerados.

Tampoco se comprobó niveles importantes de Hg en las muestras superficiales y profundas analizadas.

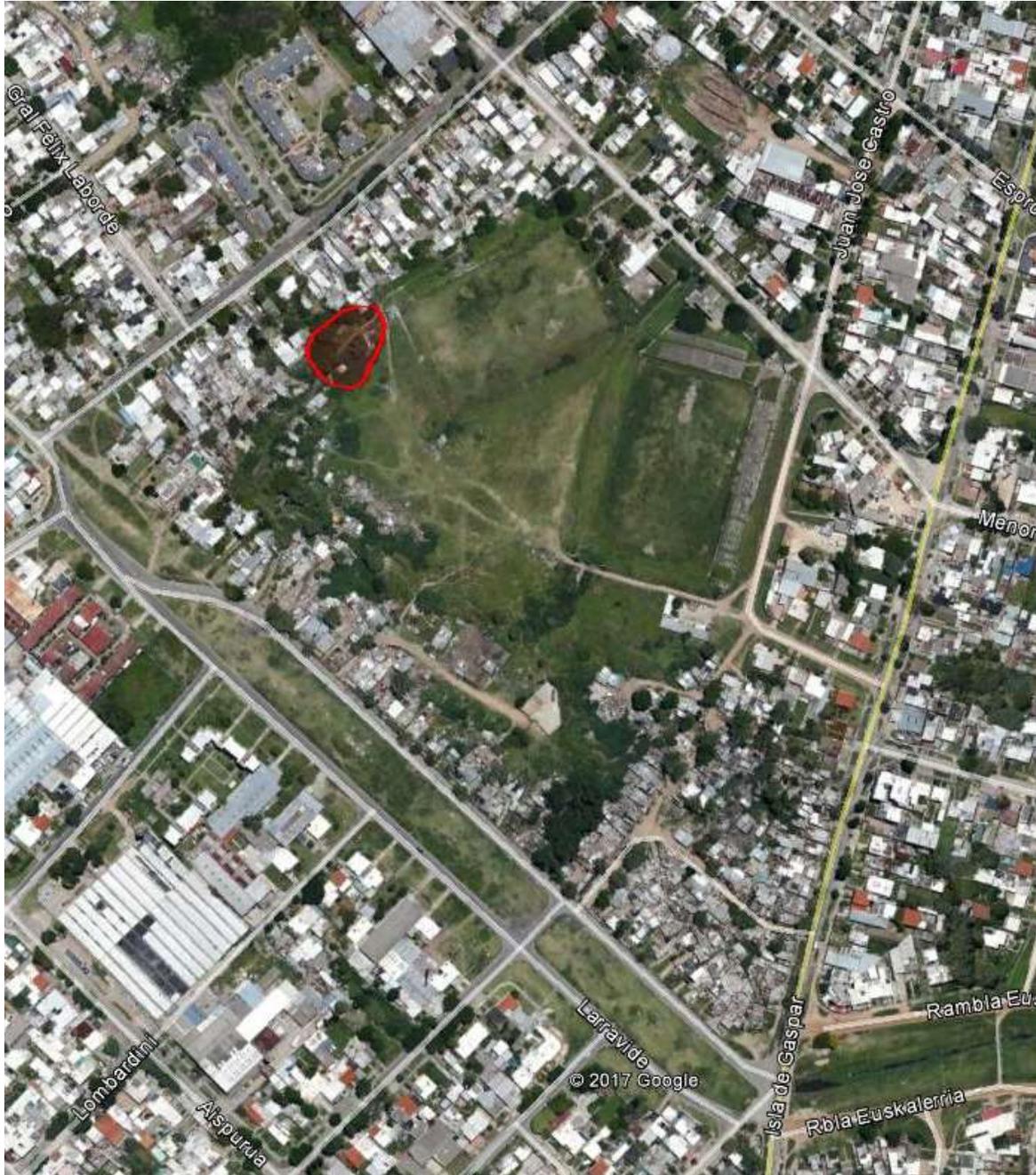
Sin embargo, se detectaron puntos de muestreo con valores intermedios (11 de 24 o 46%) y altos (2 de 24 o 8%) para algunos de los metales pesados analizados (Pb, Cu, Cr), según los estándares usados como referenciales de la EPA-Canadá.

Estos puntos se ubican en las zonas perimetrales del predio, principalmente hacia la calle Larravide y los extremos Sur de las calles Azara e Isla de Gaspar, colindantes con el predio, con excepción en el sector Norte de la calle Azara.

Los puntos en los que se detectaron valores medios y altos de metales pesados no se corresponden con las áreas identificadas como de quema de cables ni de basurales endémicos y transitorios, pero si se corresponden con zonas de presencia de residuos y las zonas bajas del predio hacia donde drenan los escurrimientos superficiales.

Estabilización de metales pesados

La presencia de valores de Pb, Cr y Cu superiores a la norma establecida, se ubica en la zona enmarcada, y ocupa un área estimada en uno 1.600 m²:



La zona a intervenir directamente se define por la presencia de valores altos de Pb, Cr y Cu-

Existe otro sector de menor superficie (unos 600 m²) del predio sobre la calle Isla de Gaspar, en donde se hallaron valores superiores de concentración de Cu, seguramente debido a actividades de quema de cables para su posterior acondicionamiento para venta del cobre.



Para lograr una inmovilización significativa de los metales pesados presentes, se propone una enmienda con estabilizantes. Existen opciones accesibles y complementarias que se tratan en el ANEXO II (encalado, carbón vegetal y fosfato-apatita natural).

Fosfato - apatita

La aplicación de fosfato-apatita es un procedimiento de bajo costo, que ha sido aplicada exitosamente por la Intendencia de Montevideo en diversas áreas urbanas contaminadas con plomo, inclusive en parte del predio estudiado.

Para metales como el Cu, el fosfato-apatita ha demostrado tener un efecto biorremediador más sostenido que las otras opciones de enmiendas. Por otra parte el Pb y el Zn precipitan formando compuestos fosfatados que son de muy insolubles en un amplio rango de pH del suelo, previniendo su lixiviación.

La incorporación de fosfato-apatita debe realizarse aproximadamente dos meses previo a la instalación de plantas para la re-vegetación del predio, asegurando una correcta distribución (al voleo) y mezclado con suelo mediante laboreo.

Deben mezclarse íntimamente los primeros 30 cm de suelo con el mineral de fósforo en una tasa de 2% en peso equivalente a 20Kg /m² de suelo para la profundidad planteada.

Esto supone (en caso de que se decida una remediación de la totalidad de la zona contaminada por encima del estándar) unas 12 toneladas de mineral de fósforo.

El mineral puede esparcirse mecánicamente de manera uniforme en la zona a remediar y luego mezclado con pala mecánica o similar repetidamente hasta que resulte distribuido en toda la masa del suelo. Si el mismo no está húmedo, debe humedecerse previo o durante esta operación.

Es recomendable realizar estas operaciones una vez que el suelo contaminado originado en todos los procesos de construcción y/o caminería haya sido retirado del lugar para evitar su reintroducción accidental.

Un mes luego de terminadas las posibles obra se debe evaluar la eficacia de la remediación en las zonas expuestas a través de un muestreo superficial que contemple la totalidad de las superficies involucradas.

Actividad 3.2.2 Desarrollar propuestas de fitorremediación

En base a la información disponible fue posible definir dos zonas dentro del predio con valores medios y altos de metales pesados en suelos superficiales (principalmente Pb, Cu, Zn y Cr), donde se podrían aplicar métodos de fito y/o biorremediación:



Se trata de zonas con valores intermedios de metales pesados (Pb, Cu, Zn, Cr), según los estándares EPA-Canadá, que determinan un riesgo medio de exposición.

De acuerdo a un análisis FODA (ver ANEXO I), se concluye que la fitorremediación asistida (remediación por fijación en el lugar de los contaminantes en formas químicas no reactivas biológicamente) sería una forma adecuada de mejorar las condiciones del suelo contaminado con metales pesados: estos son adsorbidos por acondicionadores de sustrato idóneos incorporados al suelo (inorgánicos y/u orgánicos).

Los acondicionadores eliminan la toxicidad del suelo y aportan nutrientes y mejores condiciones físicas para las plantas. La biomasa vegetal muerta que aportan en el mediano y largo plazo las plantas mantienen la eficacia de la remediación en el tiempo. Se reduce así la fracción biodisponible de contaminante en el suelo.

Es factible aplicar este método para la remediación de las dos zonas identificadas con niveles medios y altos de Pb, Cu, Zn y Cr en el predio "Isla de Gaspar", con excepción de las zonas con inundación permanente y temporal.

Actividad 3.2.3 Desarrollar propuestas de biorremediación microbiológica

Una estrategia de fitoestabilización asistida en las áreas con niveles medios de metales pesados, tiene como cometido final disminuir la biodisponibilidad de los contaminantes y así evitar su ingreso en la cadena trófica, lo cual genera riesgos para la salud humana.

Se define como biodisponibilidad a la fracción biológicamente disponible de sustancias químicas del entorno que pueden ser metabolizadas por organismos vivos y de esta forma entrar en la cadena alimenticia. El ingreso de un metal tóxico en la cadena alimenticia depende de la cantidad y fuente del metal, las propiedades del suelo, la velocidad y magnitud de absorción por las plantas y el grado de absorción por los animales.

Los metales, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no sufren degradación microbiana o química, y la concentración total de estos puede persistir durante mucho tiempo después de su introducción en los suelos.

La opción de remediación biológica, además de ser más económicas, generalmente incluye la mejora de los suelos para minimizar la biodisponibilidad del metal y no son destructivas para el entorno.

La inmovilización química y biológica de los metales, utilizando compuestos inorgánicos (como compuestos de cal y fosfato) y compuestos orgánicos, permiten minimizar su biodisponibilidad. La inmovilización de los contaminantes se produce por adsorción,

precipitación y formación de complejos lo cual reduce los niveles en solución y los traslada a la fase sólida del suelo. Este proceso reduce también la fuga de los contaminantes a través de lixiviados, evitando que alcancen cursos de agua.

Los microorganismos del suelo tienen una participación fundamental en el proceso, dado que pueden afectar el estado de oxidación de los metales y por ende su capacidad para reaccionar químicamente con el entorno.

El cromo es comúnmente sometido a reacciones de oxidación/reducción por microorganismos del suelo que modifican su biodisponibilidad. En presencia de materia orgánica (como dador de electrones), el altamente tóxico Cr (VI) puede ser reducido por microorganismos a Cr (III), el cual más estable y presenta menor tasa de absorción por los seres vivos.

El Cu generalmente es menos soluble en su estado de oxidación más alto y la adición de compost o carbón vegetal es una forma de inmovilizarlo dado que generan un aumento del pH del suelo y de la materia orgánica.

Estos fenómenos también tienen un fuerte efecto inmovilizador del Pb.

Mejora del nivel nutricional del suelo (ANEXO II)

Se pondrá como foco principal el área que contiene valores intermedios de contaminación con metales pesados (área amarilla).

Esta es una fitotecnología se aplica in situ, es amigable con el medio ambiente, y se basa en la utilización de plantas tolerantes a los metales en combinación con modificaciones orgánicas y/o inorgánicas, dirigidas a reducir la biodisponibilidad del metal en el suelo a partir de:

- i) Reducir la erosión del suelo y la lixiviación de metales hacia las aguas subterráneas,
- ii) Evitar la dispersión de los polvos contaminantes
- iii) Facilitar la re-vegetación de los sitios contaminados y
- iv) Estimular la actividad biológica del suelo

Compost

Una mejora en las propiedades fisicoquímicas, el contenido de nutrientes y la actividad microbiana del suelo puede lograrse mediante el agregado de enmiendas orgánicas como el compost.

El compost puede ser originado desde una gran variedad de materiales, incluyendo materiales orgánicos provenientes de desechos producidos por población urbana como residuos municipales sólidos (residuos domiciliarios), residuos vegetales (desechos de jardines, rastrojos), biosólidos (lodo de aguas residuales), entre otros. El compost procesado a partir de biosólidos tiene una aplicación limitada en base a las cargas permisibles de oligoelementos presentes en el suelo.

La dosis a aplicar en el predio de Isla de Gaspar dependerá de los parámetros fisicoquímicos del suelo. En caso de suelos empobrecidos se puede llegar a aplicar una dosis de hasta 20 toneladas de compost por hectárea por año.

Se recomienda monitorear la actividad microbiana para determinar el éxito del tratamiento. Para ello se pueden utilizar parámetros de calidad microbiológica del suelo como por ejemplo la tasa respiratoria del suelo y el carbono de biomasa microbiana.

La aplicación de compost ha demostrado disminuir significativamente la biodisponibilidad del Pb, mejorando los procesos de fitoestabilización. Por otra parte, su aplicación es de uso corriente por la División Areas Verdes de la Intendencia de Montevideo para abonar espacios públicos lo cual facilitaría su implementación. El producto se obtiene de la Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos, TRESOR, quien recibe como materia prima desechos orgánicos de diversas industrias con quienes tiene convenio.

Estiércol

Otro tipo de enmienda orgánica es el estiércol originado de animales confinados (ganado vacuno, lechería, aves de corral y porcinos). Para lograr una mejora significativa en las características físicas del suelo es posible aplicar el estiércol junto con cáscara de arroz en una dosis de 10 toneladas por hectárea o incluso dosis superiores. La mejor forma de aplicar el estiércol es incorporándolo al suelo con laboreo.

Se recomiendan las mismas medidas de control descriptas para el tratamiento con compost. Este material no solo aporta materia orgánica al suelo sino que también favorece la estabilización de los metales pesados presentes en el suelo por formación de complejos estables.

Aporte de microorganismos benéficos

Si bien la incorporación de compost tiene un fuerte aporte de actividad microbiana en el suelo, es posible reforzar la actividad de microorganismos benéficos que promuevan el crecimiento de las plantas y sostengan a largo plazo el crecimiento vegetal en presencia de metales pesados.

Rhizobios

Las plantas leguminosas juegan un papel muy importante en el aporte de nitrógeno al suelo, lo cual logran mediante la actividad de rhizobios que viven en asociación simbiótica con la planta y son capaces de fijar el N₂ atmosférico. Cada especie vegetal posee un rhizobio específico el cual es capaz de colonizar sus raíces formando nódulos donde las células bacterianas se especializan en fijar nitrógeno atmosférico y transformarlo en compuestos nitrogenados que quedan a disposición de la planta. Esto favorece el desarrollo vegetal y mejora la supervivencia de las plantas en suelos contaminados.

Existe en el mercado una amplia variedad de inoculantes en base a rhizobios que son de uso muy frecuente y se incorporan al material vegetal principalmente cubriendo semillas previo a la siembra.

Dosis y momento de aplicación: Los rhizobios (en presentación líquida o en turba) se incorporan a las semillas de las plantas previo a la siembra siguiendo las recomendaciones del fabricante respecto a la dosis por Kg de semilla.

Microorganismos efectivos

Los Microorganismos Efectivos (EM por sus siglas en inglés) están compuestos por una mezcla de tres grupos de microorganismos: *Lactobacillus*, levaduras y bacterias fototróficas o fotosintéticas. Los EM tienen una gran variedad de aplicaciones, entre las cuales se encuentra la capacidad de promover el crecimiento vegetal promoviendo el desarrollo de las plantas, mejorando su capacidad fotosintética, solubilizando nutrientes y suprimiendo los patógenos del suelo. Además la aplicación de EM mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, tanto por aplicación directa de EM como a través de la incorporación de compost.

Los EM activados se pueden encontrar en las Unidades de Activación ubicados en diversos puntos del territorio nacional.

En el caso particular del predio Isla de Gaspar, donde se realizaría la aplicación de compost, la forma de incorporar los EM al suelo realizando una mezcla EM-compost. Esto debe realizarse durante el proceso de compostaje aplicando una solución de EM al 2% en forma intercalada con la pila de material en descomposición. Como los EM se reproducen en la materia orgánica, el compost se va enriqueciendo en microorganismos benéficos. La mezcla EM-compost finalmente se incorpora al suelo por laboreo previo a la plantación del material vegetal.

Se recomienda aplicar en épocas de mayor temperatura dado que los EM se vuelven inactivos por debajo de los 6°C.

Cabe destacar que la aplicación de EM favorece la disminución de microorganismos patógenos provenientes de aguas servidas, problemática que se han observado en el predio de Isla de Gaspar. En dicho caso la supresión de patógenos se obtiene aplicando una dosis de EM activado de 1L cada 1.000L de aguas a tratar.

5. CONCLUSIONES DEL INFORME DE AVANCE

En esta etapa finalizaron las tareas de campo, se obtuvo la cantidad de información necesaria para realizar sugerencias de intervención en el predio de Isla de Gaspar.

El cronograma se vio afectado por la cantidad de días de lluvia durante el mes de setiembre.

Se proponen las trazas de canalizaciones que permitirán la conexión hidráulica de la totalidad de la superficie del predio y la conducción de las aguas hacia la zona de recepción y posterior vertido.

Existe en el predio cierta cantidad de material, seguramente proveniente de las canteras originales, que puede ser reusado para procesos de nivelación y/o cubierta de superficies con cierto grado de contaminación por metales pesados. Las condiciones de estabilidad del predio y una propuesta de zonificación adecuada serán determinadas con el análisis completo de la información de las pruebas geofísicas (en estudio).

Los suelos superficiales del asentamiento son formados a partir de movimientos de tierra y aportes recientes, no encontrándose en ningún lugar suelos originales.

No se encontró evidencia de contaminación por Hg. El mapeo de la zona determinó dos zonas de alto riesgo (rojo) y dos zonas de riesgo intermedio que deben ser tratadas.

La fitorremediación asistida (remediación por fijación en el lugar de los contaminantes en formas químicas no reactivas biológicamente) sería una forma adecuada de mejorar las condiciones del suelo contaminado con metales pesados: estos son adsorbidos por acondicionadores de sustrato idóneos incorporados al suelo (inorgánicos y/u orgánicos).

Para lograr una inmovilización significativa de los metales pesados presentes, se propone una enmienda con estabilizantes (fosfato-apatita, encalado)

Las zonas de riesgo intermedio (moderado – amarillo) pueden ser tratadas con medidas de remediación (biorremediación) de eficacia media con resultados a largo plazo.

Octubre de 2017

6. ANEXOS

ESTUDIO Y PROPUESTA DE RECUPERACIÓN Y USOS DE TERRENO EN “ISLA DE GASPAR”:

DESARROLLO DE PROPUESTAS DE FITORREMEDIACIÓN

Informe realizado para: GEA Consultores

Informe realizado por: Asesor Rosanna Ginocchio Cea, Doctor en Ciencias Biológicas, mención Ecología. Santiago, Agosto 2017

Introducción

La presente evaluación sobre la factibilidad de uso de metodologías de fitorremediación para la remediación de suelos contaminados que sean identificados en el terreno de Isla de Gaspar ha sido desarrollada a petición de la empresa consultora ambiental GEA.

El objetivo de esta asesoría es determinar si alguna(s) de las metodologías disponibles de fitorremediación constituyen los métodos de remediación más adecuados al sitio de interés, con énfasis en suelos superficiales degradados químicamente, considerando tanto aspectos técnicos (ej. tipos y concentraciones de contaminantes, especies vegetales disponibles, características hidrológicas, topográficas y climáticas del sitio, entre otros) como los recursos económicos disponibles y los plazos requeridos para la ejecución del plan de remediación integrado que sea definido para el predio.

El formato del presente informe sigue el usado en el Informe Preliminar entregado por GEA a la Intendencia, de forma de facilitar la incorporación de esta evaluación en el Segundo Informe que sea generado por GEA.

Actividad 3.2.2: Desarrollo de propuestas de fitorremediación

El objetivo fue determinar la pertinencia de usar métodos de fitorremediación para la estabilización química (remediación) de los suelos superficiales con presencia de contaminantes, los que representen riesgos ambientales en el sitio de interés, en el marco de la “Propuesta de Recuperación y usos del terreno de Isla de Gaspar”.

Los énfasis de análisis se pusieron en:

- La identificación de zonas dentro del predio con valores medios y altos de contaminantes en los suelos superficiales, las que podrían ser remediadas por fitorremediación.
- La factibilidad de aplicación de métodos de fitorremediación en las zonas identificadas dentro del predio, considerando tanto aspectos técnicos como otros factores relevantes (ej. uso final definido para el sitio, recursos económicos disponibles para las acciones de remediación y plazos requeridos para la remediación).

Las metodologías de análisis consideraron la revisión de la información pertinente disponible en el Informe Preliminar del Estudio y Propuesta de Recuperación y Usos de Terreno de la “Isla de Gaspar” generado por GEA consultores, visitas presenciales al sitio de interés por parte de la asesora experta

(Dra. Rosanna Ginocchio) y reuniones de discusión de la asesora experta con el equipo de trabajo del estudio.

Zonas con presencia de contaminantes en el suelo superficial que requieren de remediación

La información disponible indica que no existe contaminación del suelo superficial del predio con contaminantes orgánicos (todos los valores se encuentran por debajo de la norma EPA-Canadá) y que la concentración de contaminantes metálicos (Pb, Cr, Ni, Zn, Cu) es principalmente baja. Sin embargo, se detectaron puntos de muestreo con valores intermedios (11 de 24 o 46%) y altos (2 de 24 o 8%) para algunos de los metales pesados analizados (Pb, Cu, Zn, Cr), según los estándares usados como referenciales de la EPA-Canadá (Figura 1). Estos puntos se ubican en las zonas perimetrales del predio, principalmente hacia la calle Larravide y los extremos Sur de las calles Azara e Isla de Gaspar, colindantes con el predio. La única excepción es el punto A1, en el sector Norte de la calle Azara.

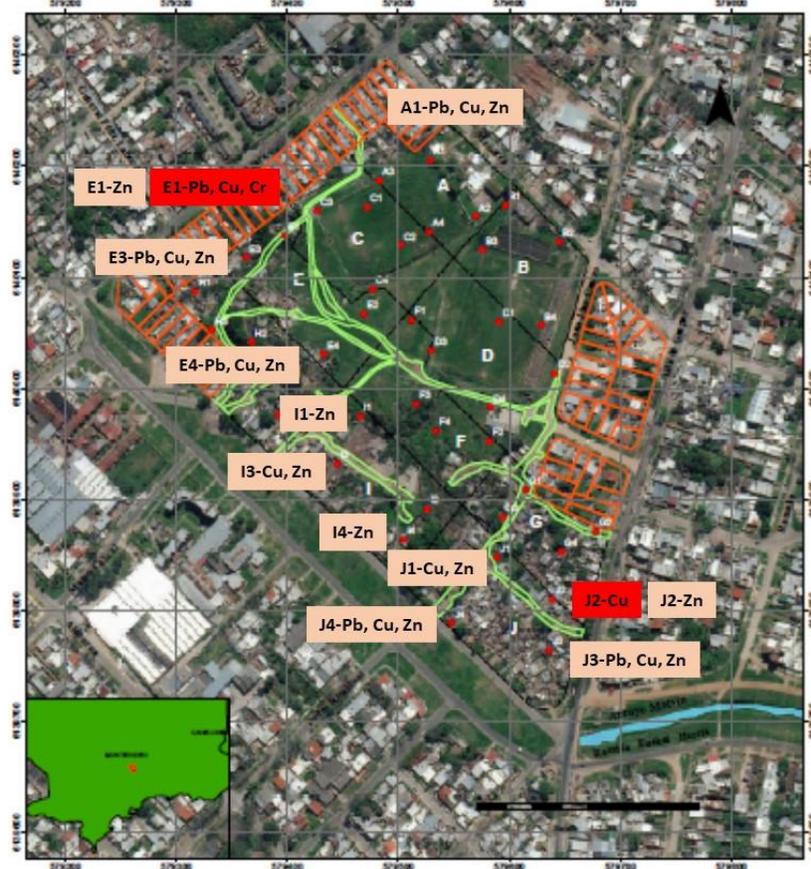


Figura 1. Puntos de muestreo de suelo superficial (puntos rojos) con el resultado de los contaminantes metálicos que superan el mayor valor definido por la EPA-Canadá (rectángulos rojos) o que se encuentran entre el valor menor y mayor definido por la EPA-Canadá (Modificado del Informe Preliminar GEA Consultores, Julio 2017).

Los puntos en los que se detectaron valores medios y altos de metales pesados no se corresponden con las áreas identificadas como de quema de cables ni de basurales endémicos y transitorios, pero si se corresponden con zonas de presencia de residuos y las zonas bajas del predio hacia donde drenan los escurrimientos superficiales (Figura 2).



Figura 2. Ubicación de los pasivos ambientales y descripción de los escurrimientos superficiales del predio (Tomado del Informe Preliminar GEA Consultores, Julio 2017).

De esta forma, es posible especular que la mayor presencia de los metales pesados contaminantes (Pb, Cu, Zn, Cr) en la zona baja del predio puede derivar de distintas fuentes. Primero, de los residuos sólidos (basura que se degrada) presentes actualmente en la superficie. También de las aguas lluvia de lavado superficial provenientes de las zonas “altas” del predio, que arrastran partículas de suelo desde los puntos de quema de cables (conteniendo cenizas ricas en metales) y de los basurales endémicos y transitorios, además de lixiviados históricos generados por la basura acumulada en profundidad, los que han ido drenado hacia las partes más baja del predio. Es evidente que los procesos de escurrimiento superficial de las aguas (y el material particulado arrastrado) son privilegiados por sobre la infiltración, debido a las características del suelo (ej. altamente compactado). Debido a la baja pendiente de la zona Sur del predio y la falta de conexión de los drenajes acumulados en las zonas bajas con el arroyo Malvín, es esperable que los metales presentes en las aguas de drenaje y/o lixiviados se vayan quedado acumulados en los suelos superficiales. Sería adecuado disponer de información sobre la calidad química (y el contenido de patógenos) de las aguas de escurrimiento superficial dentro del predio, de forma de poder esclarecer los fenómenos de dispersión de contaminantes en su superficie. Esto es fundamental para poder tomar acciones adecuadas e integrales de remediación.

En base a la información disponible fue posible definir dos zonas dentro del predio con valores medios y altos de metales pesados en suelos superficiales (principalmente Pb, Cu, Zn y Cr), las que podrían ser remediadas a través de métodos de fitorremediación. Una de las zonas (pequeña) corresponde al punto A1 del muestreo de suelos (sector Norte calle Azara), con valores intermedios de Pb, Cu y Zn; la otra zona (mucho más extensa) corresponde a la franja Sur del predio, con valores medios de Pb, Cu y/o Zn y altos de Pb, Cu y/o Cr (Figura 3).

Figura 3. Zonas con valores intermedios y altos de metales pesados (Pb, Cu, Zn y Cr), según los estándares EPA-Canadá, que podrían ser remediadas con métodos de fitorremediación (sectores destacados en verde claro). El círculo azul muestra una zona de inundación permanente en el predio.



Factibilidad de aplicación de métodos de fitorremediación en las zonas contaminadas

La fitorremediación consiste en un consorcio de métodos basados en el uso de plantas con distintas características específicas y manejos asociados, los que permiten la remediación de contaminantes inorgánicos y/u orgánicos presentes en distintas matrices ambientales (aire, agua, suelo). Los principales métodos son la fitoextracción, fitoestabilización, fitoestabilización asistida, rizofiltración, fitopurificación, fitovolatilización y fitodegradación (Figura 4).

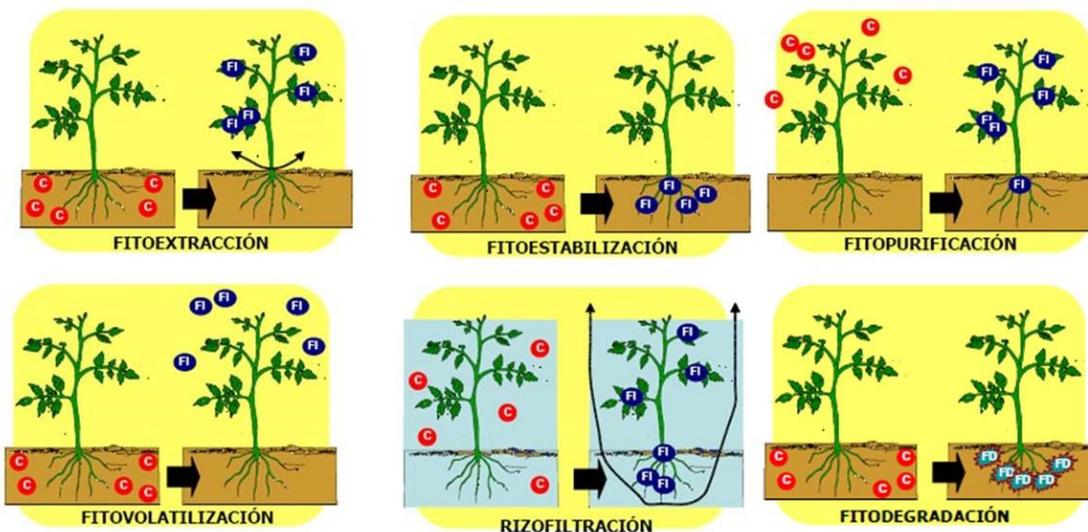


Figura 4. Principales métodos desarrollados dentro de la metodología de fitorremediación a nivel internacional. C, contaminante; FI, forma inocua del contaminante; FD, forma degradada del contaminante.

El nivel de desarrollo y de aplicación a escala comercial de estas metodologías es aún variado, ya que no todas han sido validadas o aplicadas a grandes escalas superficiales y evaluadas por tiempos prolongados. Dentro de las principales ventajas de estas metodologías están sus menores costos (instalación, operación y mantenimiento) en comparación con muchas de las tecnologías físicas (cementación, coberturas gruesas) o químicas (vitrificación) disponibles, la gran aceptación pública, el aporte estético al lugar y la generación de servicios ecosistémicos (beneficios ambientales para el ser humano como el control de procesos erosivos del suelo y la evapotranspiración de escurrimientos superficiales), entre otros. Todas estas metodologías pueden ser aplicadas solas o en combinación con otras tecnologías, tanto físicas como químicas. Dentro de sus principales desventajas están el no ser adecuadas para la remediación de sitios con niveles muy altos de contaminantes (se requiere en estos casos de pretratamientos para evitar la fitotoxicidad), el ser efectivos sólo hasta donde las raíces de las plantas pueden desarrollarse (capas superficiales del suelo), el tomar períodos de tiempo más prolongados (meses o años) que otras tecnologías físicas o químicas (días o semanas), la estacionalidad climática del sitio puede restringir la actividad de las plantas a ciertas épocas del año, se requiere de monitoreo (mediano, largo plazo) para verificar su eficacia temporal y se debe verificar la no ocurrencia de efectos secundarios no deseados (ej. toxicidad crónica en herbívoros por consumo de elementos acumulados en tejidos vegetales, lixiviación de compuestos no deseados en el perfil del suelo a partir de la aplicación de acondicionadores de sustrato).

Dentro de los métodos de fitorremediación adecuados para la remediación de metales pesados en suelos superficiales, como los identificados con valores intermedios y altos en el predio (Pb, Cu, Zn, Cr), se identifican tres: fitoextracción, fitoestabilización y fitoestabilización asistida. Estos métodos se realizan todos *in situ* (en el lugar) y permiten ya sea la extracción de los contaminantes presentes en el suelo (fitoextracción) o su inmovilización permanente en el suelo (fitoestabilización y fitoestabilización asistida), eliminando así los riesgos de exposición y, por ende, de toxicidad de los metales pesados para los seres vivos. Estos tres métodos se describen brevemente en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales métodos de fitorremediación utilizados para la remediación *in situ* de suelos superficiales contaminados.

Método	Tipo de planta requerida	Mecanismo de remediación	Contaminante(s) remediado(s)
Fitoextracción	Tolerante al o los contaminantes* e hiperacumuladora** de los mismos. Adecuada las condiciones edafoclimáticas del sitio.	Remediación por extracción de los contaminantes. Estos son absorbidos por las raíces y luego translocados a los tejidos vegetales aéreos, donde son confinados. Los tejidos aéreos deben ser cosechados, secados e incinerados; las cenizas generadas deben ser dispuestas adecuadamente.	Metales, metaloides y orgánicos
Fitoestabilización	Tolerante al o los contaminantes. Adecuada las condiciones	Remediación por fijación en el lugar de los contaminantes en formas químicas no reactivas biológicamente. Los	Metales, metaloides y orgánicos

	edafoclimáticas del sitio.	contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas, donde son confinados en los tejidos radiculares. Se reduce así la fracción biodisponible de contaminante presente en el suelo.	
Fitoestabilización asistida	Normal (cualquier planta). Adecuada las condiciones edafoclimáticas del sitio.	Remediación por fijación en el lugar de los contaminantes en formas químicas no reactivas biológicamente. Estos son adsorbidos por acondicionadores de sustrato idóneos incorporados al suelo (inorgánicos y/u orgánicos). Los acondicionadores eliminan la toxicidad del suelo y aportan nutrientes y mejores condiciones físicas para las plantas. La biomasa vegetal muerta que aportan en el mediano y largo plazo las plantas mantienen la eficacia de la remediación en el tiempo. Se reduce así la fracción biodisponible de contaminante en el suelo.	Metales, metaloides y orgánicos

* En el caso de las plantas tolerantes a metales, éstas se denominan metalófitas. No todas las plantas metalófitas son hiperacumuladoras de metales, pero todas las hiperacumuladoras de metales son metalófitas.

** Las plantas hiperacumuladoras de Pb, Cu y Cr deben poseer concentraciones iguales o mayores a 1.000 mg de metal por kg de hojas (base seca), siendo la concentración típica de estos metales en las hojas de las plantas normales menor a 30 mg kg⁻¹. Las plantas hiperacumuladoras de Zn deben poseer concentraciones iguales o mayores a 10.000 mg de metal por kg de hojas (base seca), siendo la concentración típica de Zn en las hojas de las plantas normales menor a 200 mg kg⁻¹.

Para determinar la factibilidad de aplicación de los tres métodos alternativos seleccionados en forma preliminar a las zonas identificadas con niveles intermedios y altos de metales pesados en el predio de interés, se realizaron análisis FODA. Estos análisis consideraron aspectos técnicos de los métodos de remediación seleccionados, las características de los sitios con requerimientos de remediación del predio, los recursos económicos disponibles para las acciones de remediación y los plazos requeridos para la remediación, entre otros aspectos relevantes.

1. Análisis FODA para el método de fitoextracción:

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> * El método es coherente con el uso definido para el predio (área verde y espacio público). * Método de alta aceptación pública. * Existen plantas hiperacumuladoras de Pb, Zn y Cr (descritas internacionalmente), tolerantes a las concentraciones más altas de estos elementos descritas en el predio. * Adecuado para superficies pequeñas y con contaminación superficial por metales. 	<ul style="list-style-type: none"> * El método no es adecuado en las zonas con inundación permanente y temporal del predio. * Se desconoce la existencia de plantas nativas/endémicas hiperacumuladoras en Uruguay para los metales de interés de remediación en el predio. * Las plantas hiperacumuladoras de metales no están disponibles comercialmente en el mundo. Además, de estarlo, pueden existir requerimientos/restricciones fitosanitarias de ingreso a Uruguay que compliquen su importación y alarguen los plazos de ejecución. * No se han descrito en el mundo hiperacumuladoras de Cu, por lo que este metal pesado no podría ser remediado a través de esta metodología. * No es posible determinar la eficacia de extracción de los metales identificados con niveles intermedios y altos en los suelos contaminados del predio, porque se desconoce la fracción biodisponible del total. Sólo es posible remediar la fracción biodisponible por este método. * De poder aplicarse el método en las dos zonas del predio identificadas con niveles intermedios y altos de metales pesados, la limpieza de ellos desde el suelo superficial tomaría al menos dos ciclos de cultivo (según experiencias internacionales similares), lo que puede ser un plazo mayor al requerido. * Su eficacia debe ser evaluada en el tiempo (3-5 años) a través de monitoreos de la fracción biodisponible de metales presentes en el suelo remediado y/o de los niveles de los metales de interés en los tejidos aéreos de las plantas establecidas. * No existen laboratorios ambientales en Uruguay que analicen de rutina fracciones biodisponibles de metales en suelos. * No existen proveedores locales que presten actualmente el servicio en Uruguay. * Las plantas hiperacumuladoras usadas para la remediación no pueden ser mantenidas permanentemente en el sitio y, por ende, no pueden aportar a las áreas verdes que sean

	definidas para el predio. Su uso es sólo con el objetivo de extraer los metales presentes en el suelo superficial.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> * Posibilidad de desarrollar y validar la metodología a través de I+D+i en Uruguay. * Oportunidad de mercado, para implementar este tipo de alternativas de remediación en Uruguay. 	<ul style="list-style-type: none"> * Otras metodologías de remediación pueden estar disponibles en el mercado, de tipo físicas o químicas, las que permitan una remediación rápida (corto plazo) y efectiva de las zonas de interés.
CONCLUSIÓN:	
No es posible aplicar este método para la remediación de las dos zonas identificadas con niveles medios y altos de Pb, Cu, Zn y Cr en el predio "Isla de Gaspar".	

2. Análisis FODA para el método de fitoestabilización:

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> * El método es coherente con el uso definido para el predio (área verde y espacio público), ya que las especies metalófitas usadas quedarían en forma permanente en las zonas de interés de remediación. * Método de alta aceptación pública. * Existen plantas tolerantes a Pb, Cu, Zn y/o Cr (descritas internacionalmente), algunas de las cuales son cosmopolitas, tolerantes a las concentraciones más altas de estos elementos descritas en el predio. * Adecuado para superficies pequeñas y con contaminación superficial por metales. * Las plantas metalófitas usadas para la remediación quedan permanentemente en el sitio, aportando a la generación de áreas verdes seguras. 	<ul style="list-style-type: none"> * El método no es adecuado en zonas con inundación permanente y temporal del predio. * Se desconoce la existencia de plantas nativas/endémicas metalófitas para Pb, Cu, Zn y/o Cr en Uruguay. * Las plantas metalófitas no están disponibles comercialmente en el mundo. Además, de estarlo, pueden existir requerimientos/restricciones fitosanitarias de ingreso a Uruguay que compliquen su importación y alarguen los plazos de ejecución. * Según el uso definido de área verde para el predio y a la extensión de la zona Sur con niveles intermedios y altos de metales, se requerirían plantas metalófitas de distintas formas de vida (árboles, arbustos, herbáceas/pastos). Esto es difícil de lograr. * Su eficacia debe ser evaluada en el tiempo (3-5 años) a través de monitoreos de la fracción biodisponible de metales presentes en el suelo remediado y/o de los niveles de los metales de interés en los tejidos aéreos de las plantas establecidas. * No existen laboratorios ambientales en Uruguay que analicen de rutina fracciones biodisponibles de metales en suelos * No existen proveedores locales que presten actualmente el servicio en Uruguay.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> * Posibilidad de desarrollar y validar la metodología a través de I+D+i en Uruguay. 	<ul style="list-style-type: none"> * Otras metodologías de remediación pueden estar disponibles en el mercado, de tipo físicas

* Oportunidad de mercado, para implementar este tipo de alternativas de remediación en Uruguay.	o químicas, las que permitan una remediación rápida (corto plazo) y efectiva de las zonas de interés.
CONCLUSIÓN: No es posible aplicar este método para la remediación de las dos zonas identificadas con niveles medios y altos de Pb, Cu, Zn y Cr en el predio “Isla de Gaspar”.	

3. Análisis FODA para el método de fitoestabilización asistida:

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> * El método es coherente con el uso definido para el predio (área verde y espacio público), ya que las especies vegetales usadas serían las definidas en la planificación de las áreas verdes del proyecto paisajístico. * Método de alta aceptación pública. * Se pueden usar plantas normales (no metalófitas), las que quedan permanentemente en el sitio, aportando a la generación de áreas verdes seguras. * Adecuado para superficies pequeñas y con contaminación superficial por metales. * Método de rápida aplicación (corto plazo). * Sólo se requiere conocer otros parámetros físicos (contenido de materia orgánica) y químicos (pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, Conductividad Eléctrica) de los suelos presentes en las dos zonas definidas para remediación, de forma de definir los acondicionadores más adecuados a los suelos de interés. Estos parámetros son determinados en forma rutinaria en laboratorios ambientales. * Existe experiencia en Montevideo de uso de acondicionadores inorgánicos (fosfato/apatita) para la remediación in situ de suelos superficiales con niveles altos de Pb. * Existen proveedores locales que presten actualmente el servicio en Montevideo. 	<ul style="list-style-type: none"> * El método no es adecuado en zonas con inundación permanente y temporal del predio. * Su eficacia debe ser evaluada en el tiempo (3-5 años) a través de monitoreos de la fracción biodisponible de metales presentes en el suelo remediado y/o de los niveles de los metales de interés en los tejidos aéreos de las plantas establecidas. * No existen laboratorios ambientales en Uruguay que analicen de rutina fracciones biodisponibles de metales en suelos. * Se requiere identificar acondicionadores orgánicos disponibles localmente y que sean efectivos en el mediano-largo plazo en la inmovilización de los metales de interés en el suelo. Además de inmovilizar metales, estos acondicionadores mejorarán las condiciones nutricionales del sustrato. * Riesgo de no disponer de los volúmenes requeridos de los acondicionadores de suelo definidos para las superficies a ser tratadas en el predio y a un bajo precio.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> * Oportunidad de mercado, para fortalecer la implementación de este tipo de alternativas de remediación en Uruguay. * Oportunidad de mercado para los laboratorios de analítica ambiental de ofrecer análisis de fracciones biodisponibles de metales en suelos. 	<ul style="list-style-type: none"> * Otras metodologías de remediación pueden estar disponibles en el mercado, de tipo físicas o químicas, las que permitan una remediación más rápida y efectiva de las zonas de interés.

* Oportunidad para valorizar residuos sólidos no peligrosos, orgánicos e inorgánicos, como acondicionadores de suelos contaminados con metales.	
CONCLUSIÓN: Es factible aplicar este método para la remediación de las dos zonas identificadas con niveles medios y altos de Pb, Cu, Zn y Cr en el predio “Isla de Gaspar”, con excepción de las zonas con inundación permanente y temporal.	

En base a los análisis FODA realizados, se sugiere optar por la alternativa de fitoestabilización asistida para remediar los suelos superficiales que muestran tanto niveles intermedios como altos de metales en las dos zonas identificadas en el predio.

En términos generales, las etapas involucradas en la aplicación de esta metodología de remediación son las siguientes:

- a) Caracterización fisicoquímica general de los suelos: es importante realizar una caracterización fisicoquímica general de los suelos superficiales (0-20 cm profundidad) ubicados en las dos zonas seleccionadas para remediación (mismos puntos de muestreo del presente estudio), usando métodos estandarizados. Este análisis permitirá determinar los factores edáficos que puedan ser limitantes tanto para lograr la adecuada inmovilización de los metales presentes en los suelos como para asegurar el adecuado establecimiento y crecimiento de las plantas que decidan ser establecidas. De esta forma, deben determinarse la textura, el contenido de materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la conductividad eléctrica (CE), el pH, el Nitrógeno total y el NPK disponibles. Adicionalmente, deben determinarse los metales biodisponibles a través de ya sea una extracción acuosa del suelos (extracto de saturación)¹ o el análisis de metales totales disueltos en agua de poro extraída desde muestras de suelo con Rhizon® soil samplers². Los factores limitantes, tanto físicos (ej. textura, MO) como químicos (ej. nutricionales y metales biodisponibles) identificados, deben ser considerados para la selección de los acondicionadores, descrito en el siguiente punto.

- b) Selección de el o los acondicionadores de suelo apropiados: los acondicionadores a ser usados deben ser baratos, estar disponibles localmente en los volúmenes requeridos y no deben generar problemas ambientales secundarios (ej. introducir otros elementos riesgosos). Los acondicionadores efectivos de usar para reducir la biodisponibilidad de los metales identificados en los dos sectores del predio (Pb, Cu, Zn, Cr) son diversos. Dependiendo de sus características fisicoquímicas, las opciones de enmiendas para reducir la fracción biodisponible de metales son las siguientes, las que pueden ser aplicadas solas o en combinación:

¹ Ginocchio et al. 2002. Environmental Toxicology and Chemistry 21(8): 1736–1744

² Ginocchio et al. 2009. Environmental Toxicology and Chemistry 28(10): 2069–2081

- ✓ Aplicar algún material encalante (ej. cal agrícola, conchuela, cenizas volantes) que permita aumentar el pH a neutralidad (6,5 a 7,0), si es que el suelo tiene pH ácido; esto genera precipitación química de los metales.
- ✓ Aplicar un material inorgánico adsorbente, tal como zeolita, óxido de manganeso, óxido de hierro o fosfato (apatita). Esta alternativa es adecuada cuando el principal factor limitante del suelo contaminado es la presencia de niveles altos de metales.
- ✓ Aplicar materia orgánica como adsorbente, tal como humus, compost, biosólidos u otro residuo orgánico que haya sido validado para estas aplicaciones. Esta alternativa es adecuada cuando además de la inmovilización de los metales presentes en exceso en el suelo se requiere mejorar la condición macronutricional (NPK disponible) de este, para asegurar el adecuado desarrollo de la vegetación establecida.

Una vez seleccionado(s), es recomendable definir las dosis adecuadas de aplicación, dependiendo de los niveles biodisponibles de los metales presentes y de otros factores edáficos que puedan ser limitantes (ej. carencias macronutricionales). Las dosis definidas para el o los acondicionadores seleccionados (o un rango de ellas) pueden ser evaluadas en forma preliminar y en condiciones de laboratorio, de forma de verificar experimentalmente su eficacia en los suelos contaminados en los que serán incorporados, antes de su aplicación definitiva y a mayor escala en el predio.

- c) Selección de las especies vegetales: una de las ventajas del método de fitoestabilización asistida es que las especies vegetales posibles de usar son diversas y, básicamente, restringidas a las condiciones edafoclimáticas del sitio. No están restringidas al grupo de las metalófitas. En el caso específico del predio en cuestión, serán las especies más adecuadas al uso que sea definido por los expertos paisajistas para área verde y espacio público.
- d) Aplicación de los acondicionadores en los sitios definidos del predio para la remediación de los metales y la plantación de las especies vegetales: Una vez seleccionados los acondicionadores, estos deben ser comprados, trasladados al predio y aplicados en los sitios, según las dosis definidas como adecuadas para la remediación de los niveles intermedios o altos de los metales de interés presentes. Los acondicionadores deben ser distribuidos superficialmente en los suelos de interés y luego incorporados en la capa superficial (0-20 cm profundidad o capa arable). Dependiendo de la superficie que requiera ser trabajada, la disposición superficial de los acondicionadores puede ser realizada a mano (sacos y palas) o con maquinaria pesada. La incorporación de ellos a la capa superficial del suelo puede ser realizada con arado y tractor (esta alternativa permite una incorporación más homogénea que el uso de palas mecánicas y volteo). Una vez incorporados los acondicionadores al suelo, es importante regar el suelo para activarlos; posteriormente deben seguirse ciclos de secado del suelo y nuevo riego, por al menos 15-30 días de forma de permitir un tiempo adecuado para la inmovilización de los metales en el suelo acondicionado. Finalmente, se realiza el establecimiento de las plantas seleccionadas.

- e) Monitoreo de la eficacia del método de remediación: es importante realizar monitoreos de los suelos remediados, de forma de verificar el grado de inmovilidad logrado para los metales contaminantes. El primer año debería hacerse un monitoreo al mes luego de la plantación y al término del año. Posteriormente, se sugiere un monitoreo anual durante los siguientes 5 años. Cada monitoreo consiste en la toma de un número de muestras representativas de suelo superficial (0-20 cm), las que son analizadas químicamente en cuanto a metales biodisponibles (la metodología analítica se indicó en el punto a), más arriba).

Otras consideraciones relevantes

A pesar que la fitoestabilización asistida sería un método factible para la remediación de los suelos superficiales contaminados con metales identificados en el predio (tanto para valores intermedios como altos), considerando las condiciones actuales del predio, se sugiere considerar una toma de decisiones sobre los métodos de remediación a ser usados con una mirada más holística del predio (estabilidad de los suelos, contaminación superficial con metales, problemas sanitarios por acumulación superficial de basura, existencia de patógenos, lixiviados de vertedero histórico, existencia real de un suelo que sustente en forma adecuada áreas verdes, etc.). Por ejemplo, la caracterización general del predio podría indicar zonas de suelos inestables, debido a la presencia de capas gruesas y más bien superficiales de lodos, lo que requeriría de acciones tales como reperfilamiento y relleno del terreno, si desea ser usado para parque y espacio público. Estas acciones ya podrían constituir una medida efectiva de remediación de tipo físico (confinamiento), particularmente si es que deben ser aplicadas en las zonas bajas identificadas con suelos superficiales con valores intermedios y altos de contaminantes metálicos. Adicionalmente, en los dos puntos identificados con valores altos de metales en los suelos superficiales (E1 con Pb, Cu y Cr; J2-Cu), podría ejecutarse remediación por cementación (confinamiento), si es que el diseño paisajístico contempla la construcción de multicanchas o de otras edificaciones; estas facilidades podrían ser ubicadas sobre estos lugares, de forma de aportar a la remediación del sitio y a los usos deseados, sin requerir un mayor gasto de recursos económicos. Alternativamente, los suelos identificados con valores altos de contaminantes metálicos en la zona alta podrían ser extraídos y trasladados al sitio identificado con valores altos de contaminantes metálicos en la zona baja del predio. Con esta acción, se reduciría a uno el número de puntos del predio con contenidos altos de contaminantes metálicos. Este único punto pudiera entonces ser tratado con el método de fitoestabilización asistida.

Finalmente, aunque no se ha realizado una caracterización de la calidad de las aguas de las escorrentías superficiales del predio, es evidente que su calidad debe encontrarse alterada al recibir vertidos domiciliarios, arrastrar suelos superficiales contaminados con metales y con cargas orgánicas y de patógenos, además de colectar lixiviados de los vertederos históricos. La presencia de materia orgánica y compuestos nitrogenados en los suelos superficiales debido al escurrimiento de los vertidos domiciliarios a lo largo del predio pueden ser evidenciadas por la gran generación de biomasa vegetal presente, a pesar que los suelos están constituidos por rellenos y no por suelos verdaderos. El análisis del sistema hídrico del predio realizado por GEA Consultores, y detallado en el Informe Preliminar, indica que el 70% de las aguas del predio escurre al punto más bajo del predio

ubicado en el vértice Sur (intersección calles Larravide e Isla de Gaspar). Este sector es denominado como “Bañado” y no tiene punto de salida del agua, propiciando su confinamiento. Se plantea la necesidad de captar la totalidad de los escurrimientos del predio a través de obras de conexión, las que permitan canalizarlos hacia el vértice Sur del predio. Esto permitiría reducir la acumulación de aguas lluvias en diversos puntos del predio y reducir la contaminación de los suelos, ambos aspectos fundamentales para permitir un uso público y la generación de áreas verdes en el predio. Sin embargo, permanecería la situación de acumulación de aguas en el “Bañado”, probablemente de calidad inadecuada, las que no podrían ser vertidas en el arroyo Malvín. Esta acumulación de agua podría constituir un foco importante de contaminación en el predio, con generación de malos olores y presencia de vectores (patógenos, mosquitos).

Para el vertido de las aguas acumuladas en el arroyo Malvín, se sugiere entonces la instalación de un humedal artificial de flujo superficial ya sea en la zona del “Bañado” o más hacia el vértice Sur del predio, con la final de tratar en forma pasiva las aguas acumuladas y poder vertirlas con buena calidad al arroyo Malvín. Los humedales artificiales constituyen métodos pasivos muy efectivos para el tratamiento de aguas residuales (ej. municipales, industriales, esorrentías de aguas agrícolas o urbanas, drenajes de minas), por medio de procesos fisicoquímicos (sustrato del humedal) y biológicos (plantas y microorganismos asociados al humedal). Constituyen una opción autosustentable para el tratamiento de aguas residuales, ya que funcionan con la energía del sol y sus componentes biológicos y físicos (sustrato). Consisten en una cubeta impermeabilizada que contiene sustrato (suelo orgánico, compost, gravilla y/o arena), donde se plantan macrófitas emergentes (plantas acuáticas ancladas), por la que fluyen las aguas residuales (Figura 5). Los microorganismos (biofilms) y los invertebrados acuáticos que los componen se desarrollan naturalmente. Los humedales artificiales deben tener un flujo constante y lento, por lo que poseen pendientes de 1-2°.

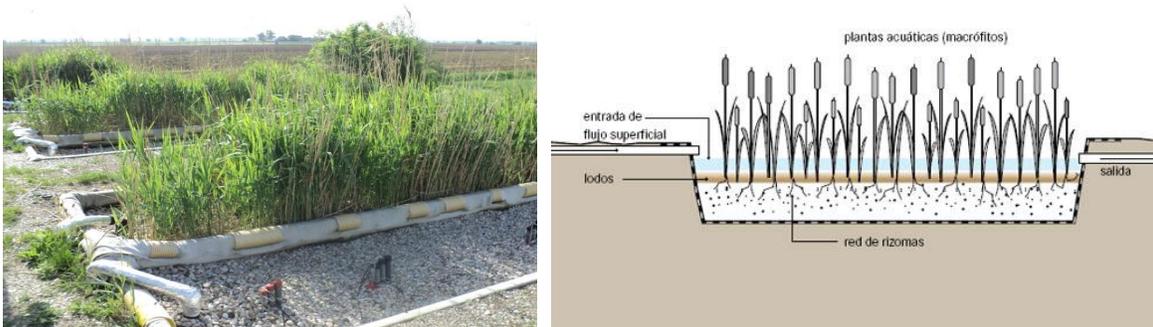


Figura 5. Humedal artificial de flujo superficial (izquierda) adecuado para el tratamiento de aguas residuales y esquema del mismo en corte transversal (derecha).

Estas estructuras tratan en forma muy eficiente niveles altos de carga orgánica en aguas superficiales (medida como Demanda Biológica Orgánica o DBO), sólidos en suspensión (SS) y Nitrógeno, con rendimientos superiores al 80%. También tratan con eficiencia patógenos, metales y trazas orgánicas. Las ventajas de los humedales artificiales son:

- ✓ Bajos costos de construcción.
- ✓ Bajos costos energéticos.
- ✓ Bajos requerimientos de mantenimiento.
- ✓ Son armónicos con el paisaje y ofrecen hábitat para las aves y otros organismos.
- ✓ El efluente puede utilizarse para riego.

ESTUDIO Y PROPUESTA DE RECUPERACIÓN Y USOS DEL TERRENO “ISLA DE GASPAR”

Propuesta de remediación microbiológica del suelo

Informe para GEA Consultores
Realizado por: Dra. María Lis Yanes

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se analizan las posibles alternativas microbiológicas para la bioremediación de suelos contaminados en lo que actualmente es el Asentamiento Isla de Gaspar, en cumplimiento con el Objetivo específico 3 de la propuesta (Actividad 3.2.3). Este aporte contribuye con el Plan de Remediación Integrado cuyo objetivo final es recuperar el predio para su uso como un espacio público abierto de uso recreativo.

Se presentarán las medidas de remediación microbiológica más adecuadas para las características del predio el cual está emplazado en parte sobre canteras inactivas de granito que se fueron rellinando durante la década del 60 con residuos domésticos y desechos industriales. Actualmente parte del predio esta ocupado por viviendas en situación irregular cuyos habitantes serán realojados previo al comienzo de las tareas de recuperación del espacio público.

1.1 Antecedentes

Este trabajo se enmarca en el tercer informe del Proyecto de recuperación y uso del terreno Isla de Gaspar. En etapas previas del proyecto se analizó la presencia de contaminantes en el suelo del predio llegándose a la identificación de áreas con niveles medios de metales pesados como Cobre, Cromo, Zinc y Plomo comprendidos entre el menor y mayor valor de EPA-Canadá (por ejemplo para Pb: entre 140 y 400 mg/Kg de suelo) y sitios puntuales donde el valor superior es superado para Cu, Cr y Pb. Los niveles

de hidrocarburos, compuestos fenólicos y orgánicos clorados se mostraron por debajo de los niveles establecidos en la norma de referencia (Figura 1 y 2).

En el predio se identifican zonas relevantes que pueden requerir de diferentes medidas de remediación para recuperar el predio en su conjunto (figura 1):

Zonas E, F, G, H, I y J – son áreas donde la carga de metales pesados se ubica en niveles medios, que corresponden al área donde se encuentran los pasivos ambientales y las viviendas irregulares.

Puntos E1 y J2 - áreas donde la carga de metales pesados supera los límites de la de referencia

Zona F - área de anegamiento que recibe el escurrimiento de aguas de lluvia y lixiviados de las partes altas del predio.



Figura 1- Sub-división del predio Isla de Gaspar. Identificación de puntos de muestreo de suelos

Los métodos de remediación más tradicionales se basan en la remoción de los suelos contaminados y su reemplazo por suelos limpios, sin embargo estos sistemas son de muy alto costo, y requieren de sitios especialmente diseñados para su disposición final.

Las opciones de remediación biológicas, por otra parte, además de ser más económicas, generalmente incluyen la mejora de los suelos para minimizar la biodisponibilidad del metal y no son destructivas para con el entorno.

Por ejemplo la inmovilización química y biológica de los metal utilizando una gama de compuestos inorgánicos (como compuestos de cal y fosfato) y compuestos orgánicos permiten minimizar su biodisponibilidad. La inmovilización de los contaminantes se produce por adsorción, precipitación y formación de complejos lo cual reduce los niveles en solución y los traslada a la fase sólida del suelo. Este proceso reduce también la fuga de los contaminantes a través de lixiviados, evitando que alcancen cursos de agua.

Los microorganismos del suelo tienen una participación fundamental en el proceso, dado que pueden afectar el estado de oxidación de los metales y por ende su capacidad para reaccionar químicamente con el entorno.

Por ejemplo, el cromo es comúnmente sometido a reacciones de oxidación/reducción por microorganismos del suelo que modifican su biodisponibilidad. En presencia de materia orgánica como dador de electrones, el altamente tóxico Cr (VI) puede ser reducido por microorganismos a Cr (III), el cual más estable y presenta menor tasa de absorción por los seres vivos. El Cu generalmente es menos soluble en su estado de oxidación más alto y la adición de compost o carbón vegetal es una forma de inmovilizarlo dado que generan un aumento del pH del suelo y de la materia orgánica. Estos fenómenos también tienen un fuerte efecto inmovilizador del Pb.

La dinámica de los metales (de origen geogénico o antropogénico) se describe en la siguiente figura:



Figura 3- Dinámica de reacción de los metales con componentes del suelo y estrategias de movilización e inmovilización de los mismos.

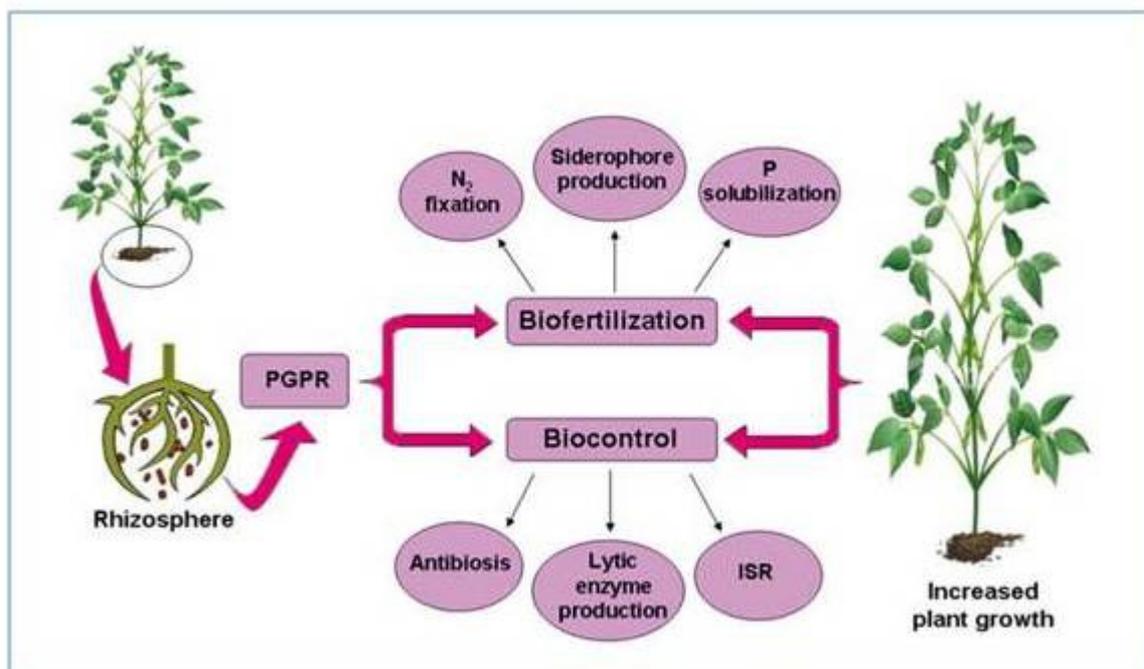
La reducción de la biodisponibilidad de metales tóxicos, junto con el enriquecimiento del suelo con materia orgánica y microorganismos promotores del crecimiento vegetal habilitan la instalación de una cobertura vegetal capaz de coexistir con dichos contaminantes. Este proceso de remediación biológica permitirá restaurar los servicios ecosistémicos del suelo, mejorando su salud y en particular la comunidad microbiana del suelo.

3. Microorganismos del suelo y su rol en la fitoremediación asistida

Las bacterias del suelo, en especial la bacterias capaces de promover el crecimiento vegetal (PGPB: del inglés *Plant Growth Promoting Bacteria*) tienen el potencial de conferir a las plantas tolerancia a estrés de origen biótico y abiótico, como por ejemplo toxicidad por metales pesados, patógenos, etc. Los metales pesados afectan la absorción de nutrientes a nivel de la rizósfera, lo que retrasa el crecimiento de las plantas. En tales condiciones de limitación de nutrientes, las PGPB tiene el potencial de proporcionar nutrientes esenciales a las plantas (efecto conocido como biofertilizante). Por ejemplo, las bacterias diazotróficas, como *Rhizobium leguminosarum* bv trifolii, pueden fijar el nitrógeno atmosférico, incluso bajo condiciones de estrés por metales, y aportar dicho nutriente a la planta. La inoculación de leguminosas con rhizobios es una tecnología ampliamente utilizada en Uruguay. Otras PGPB además de *Rhizobium*, como por ejemplo *Bacillus* y *Pseudomonas* son

capaces de aportar fósforo a las plantas, el cual es el segundo nutriente más importante y limitante del crecimiento vegetal después del nitrógeno (efecto biofertilizante). Además, las PGPB desempeñan un papel en la captación de minerales, vitaminas esenciales, la regulación estomática, variación osmótica y adaptación de la morfología de las raíces. Las PGPB también pueden promover indirectamente el crecimiento de las plantas mediante un efecto antagónico contra patógenos del suelo (conocido como efecto biopesticida) o induciendo una respuesta inmune de resistencia (IR) en la planta.

La interacción con las plantas es de ida y vuelta ya las bacterias que colonizan las raíces se nutren de exudados radiculares (figura 1 y figura 2).



(Tomado de Maheshwari, 2011)

Figura 4- Interacción PGPB-planta. Las PGPB facilitan la absorción de nutrientes del suelo por parte de las plantas, favorecen el desarrollo radicular mediante la producción de fitohormonas (efecto biofertilizante) y contrarrestan los efectos negativos de patógenos del suelo mediante antagonismo por metabolitos biocidas (biocontrol).

Colectivamente, las PGPB mejoran el crecimiento vegetal en presencia de metales tóxicos lo que facilita o asiste en el proceso de fitorremediación.

2. PROPUESTA DE REMEDIACION BIOLOGICA MULTIFACTORIAL

En este punto se pondrá como foco principal el área que contiene valores intermedios de contaminación con metales pesados. Dadas las características de dicho predio se propone una estrategia integral que aborde el problema de salud del suelo como un todo.

La estrategia se centra en la fitostabilización asistida de los metales contaminantes. Esta es una fitotecnología se aplica *in situ*, es amigable con el medio ambiente, y se basa en la utilización de plantas tolerantes a los metales en combinación con modificaciones orgánicas y/o inorgánicas, dirigidas a reducir la biodisponibilidad del metal en el suelo.

Además, esta fitotecnología permite:

- i) reducir la erosión del suelo y la lixiviación de metales hacia las aguas subterráneas,
- ii) evitar la dispersión de los polvos contaminantes
- iii) facilitar la re-vegetación de los sitios contaminados y
- iv) estimular la actividad biológica del suelo

2.1 Estabilización de metales pesados

Para lograr una inmovilización significativa de los metales pesados presentes en el suelo se propone una enmienda con estabilizantes. Existen diversas opciones accesibles en el país como por ejemplo el encalado, el carbón vegetal y el fosfato-apatita natural.

i) FOSFATO-APATITA

La aplicación de fosfato-apatita es un procedimiento de bajo costo, que ha sido aplicada exitosamente por la Intendencia de Montevideo en diversas áreas urbanas contaminadas con plomo.

Ventajas: Para metales como el Cu y el Cd, el fosfato-apatita ha demostrado tener un efecto bioremediador más sostenido que las otras opciones de enmiendas. Por otra parte el Pb y el Zn precipitan formando compuestos fosfatados que son de muy insolubles en un amplio rango de pH del suelo, previniendo de esta forma su lixiviación.

Desventajas: Un factor negativo de esta metodología es la posible fuga de fosfato a cursos de agua, lo cual junto el nitrógeno son causantes de la eutrofización del medio acuático.

En caso de que exista este efecto indeseado, el agregado de una mezcla H₃PO₄:hidroxiapatita en una relación 0,75:1 impediría la pérdida de fosfato.

Dosis: La incorporación de fosfato-apatita debe realizarse aproximadamente dos meses previo a la instalación de plantas para la re-vegetación del predio, asegurando una correcta distribución (al voleo) y mezclado con suelo mediante laboreo. La dosis recomendada a incorporar es de 1000-1500 toneladas cada 1000m², dependiendo de las características del suelo.

Medidas de control: La efectividad del tratamiento puede monitorearse por medidas del pH del suelo. Se recomienda además un monitoreo de la fracción biodisponible de los metales tóxicos identificados (Cu, Cr, Zn y Pb) para determinar si es necesario repetir el tratamiento previo a la siembra y anualmente a lo largo de un período de 5 años para verificar la estabilidad de los metales tratados.

En el caso posible de que este tipo de análisis no pueda realizarse, sería recomendable un análisis de presencia de metales pesados en la biomasa aérea vegetal, en plantas colectadas a lo largo del predio dado que la fracción biodisponible presente en el suelo puede ser tomada por las plantas a través del sistema radicular.

La toxicidad del suelo por la presencia de metales pesados se puede determinar por test toxicológicos utilizando lombriz de tierra o el microorganismo *Vibrio fischeri*.

ii) ENCALADO

Para el encalado de los suelos se utiliza caliza, una mezcla de carbonatos de Calcio (calcita, Ca(OH)₂, CaO, CaCO₃.MgCO₃) que se obtiene de la molienda de rocas calcáreas. El proceso requiere agua y laboreo para una buena mezcla del suelo con la caliza lo más profunda posible dado que el Ca difunde pocos centímetros en del suelo.

Ventajas: Con el encalado se logra aumentar el pH del suelo, favorece la inmovilización de metales pesados y mejora la exploración radicular y la absorción de nutrientes por las plantas. El efecto sobre el suelo se mantiene durante varios años, aunque puede requerir tratamientos de mantenimiento de menor dosis.

Desventajas: Una buena reacción del material con el suelo requiere este sea finamente molido lo cual lo encarece y dificulta su aplicación. La reacción de neutralización del pH es lenta.

Dosis: La aplicación se realiza al voleo seguida por incorporación mediante laboreo para asegurar una mezcla profunda, 3 meses previo a la siembra. La dosis se calcula según la acidez titulable del suelo (poder *buffer* del suelo). También puede ser mezclada con compst para reducir el pH del mismo.

Medidas de control: Se recomiendan las mismas medidas de monitoreo que para fosfato-apatita.

2.2 Mejora del nivel nutricional del suelo

i) COMPOST

Una mejora en las propiedades fisicoquímicas, el contenido de nutrientes y la actividad microbiana del suelo puede lograrse mediante el agregado de enmiendas orgánicas como el compost.

El compost puede ser originado desde una gran variedad de materiales, incluyendo materiales orgánicos provenientes de desechos producidos por población urbana como residuos municipales sólidos (residuos domiciliarios), residuos vegetales (desechos de jardines, rastrojos), biosólidos (lodo de aguas residuales), entre otros. El compost procesado a partir de biosólidos tiene una aplicación limitada en base a las cargas permisibles de oligoelementos presentes en el suelo.

Dosis: La dosis a aplicar en el predio de Isla de Gaspar dependerá de los parámetros fisicoquímicos del suelo. En caso de suelos empobrecidos se puede llegar a aplicar una dosis de hasta 20 toneladas de compost por hectárea por año.

Medidas de control: Se recomienda monitorear la actividad microbiana para determinar el éxito del tratamiento. Para ello se pueden utilizar parámetros de calidad microbiológica del suelo como por ejemplo la tasa respiratoria del suelo y el carbono de biomasa microbiana.

Ventajas: La aplicación de compost ha demostrado disminuir significativamente la biodisponibilidad del Pb, mejorando los procesos de fitoestabilización. Por otra parte, su aplicación es de uso corriente por la División Areas Verdes de la Intendencia de Montevideo para abonar espacios públicos lo cual facilitaría su implementación. El producto se obtiene de la Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos, Tesor, quien recibe como materia prima desechos orgánicos de diversas industrias con quienes tiene convenios.

Desventajas: No se detectan desventajas en la aplicación de esta ecotecnología

ii) ESTIERCOL

Otro tipo de enmienda orgánica es el estiércol originado de animales confinados (ganado vacuno, lechería, aves de corral y porcinos).

Dosis: Para lograr una mejora significativa en las características físicas del suelo es posible aplicar el estiércol junto con cáscara de arroz en una dosis de 10 toneladas por hectárea o incluso dosis superiores. La mejor forma de aplicar el estiércol es incorporándolo al suelo con laboreo.

Medidas de control: Se recomiendan las mismas medidas de control descriptas para el tratamiento con compost.

Ventajas: Este material no solo aporta materia orgánica al suelo sino que también favorece la estabilización de los metales pesados presentes en el suelo por formación de complejos estables con dichos metales.

Desventajas: Existe la posibilidad de un aumento transitorio de la acidez del suelo que puede generar el “quemado” de las plantas. Este efecto puede minimizarse tomando la precaución e no sembrar inmediatamente al agregado de la enmienda.

2.3 Aporte de microorganismos benéficos

Si bien la incorporación de compost tiene un fuerte aporte de actividad microbiana en el suelo, es posible reforzar la actividad de microorganismos benéficos que promuevan el crecimiento de las plantas y sostengan a largo plazo el crecimiento vegetal en presencia de metales pesados.

i) RHIZOBIOS

Las plantas leguminosas juegan un papel muy importante en el aporte de nitrógeno al suelo, lo cual logran mediante la actividad de rhizobios que viven en asociación simbiótica con la planta y son capaces de fijar el N₂ atmosférico. Cada especie vegetal posee un rhizobio específico el cual es capaz de colonizar sus raíces formando nódulos donde las células bacterianas se especializan en fijar nitrógeno atmosférico y transformarlo en compuestos nitrogenados que quedan a disposición de la planta. Esto favorece el desarrollo vegetal y mejora la supervivencia de las plantas en suelos contaminados.

Existe en el mercado una amplia variedad de inoculantes en base a rizobios que son de uso muy frecuente y se incorporan al material vegetal principalmente cubriendo semillas previo a la siembra.

Dosis y momento de aplicación: Los rizobios (en presentación líquida o en turba) se incorporan a las semillas de las plantas previo a la siembra siguiendo las recomendaciones del fabricante respecto a la dosis por Kg de semilla.

ii) MICROORGANISMOS EFECTIVOS

Los Microorganismos Efectivos (EM por sus siglas en inglés) están compuestos por una mezcla de tres grupos de microorganismos: *Lactobacillus*, levaduras y bacterias fotosintéticas o fotosintéticas. Los EM tienen una gran variedad de aplicaciones, entre las cuales se encuentra la capacidad de promover el crecimiento vegetal promoviendo el desarrollo de las plantas, mejorando su capacidad fotosintética, solubilizando nutrientes y suprimiendo los patógenos del suelo. Además la aplicación de EM mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, tanto por aplicación directa de EM como a través de la incorporación de compost.

Los EM activados se pueden encontrar en las Unidades de Activación ubicados en diversos puntos del territorio nacional.

El “Proyecto de Reducción de la Pobreza y Mejora de las Condiciones HigiéNICAS de los Hogares de la Población Rural de Menores Recursos”, convenio ATN/JO 10792-UR, persigue difundir la Tecnología de Microorganismos Efectivos como instrumento para mejorar la calidad de vida de los pobladores rurales a través de una mejora de las condiciones ambientales y un aumento de la productividad de las huertas familiares.

Dosis y momento de aplicación:

En el caso particular del predio Isla de Gaspar, donde se realizaría la aplicación de compost, la forma de incorporar los EM al suelo realizando una mezcla EM-compost. Esto debe realizarse durante el proceso de compostaje aplicando una solución de EM al 2% en forma intercalada con la pila de material en descomposición. Como los EM se reproducen en la materia orgánica, el compost se va enriqueciendo en microorganismos benéficos. La mezcla EM-compost finalmente se incorpora al suelo por laboreo previo a la plantación del material vegetal.

Se recomienda aplicar en épocas de mayor temperatura dado que los EM se vuelven

inactivos por debajo de los 6°C.

Cabe destacar que la aplicación de EM favorece la disminución de microorganismos patógenos provenientes de aguas servidas, problemática que se han observado en el predio de Isla de Gaspar. En dicho caso la supresión de patógenos se obtiene aplicando una dosis de EM activado de 1L cada 1000L de aguas a tratar.

Tabla 1 Resumen las medidas de remediación propuestas:

	Enmienda	Efecto sobre el suelo	Dosis	Momento de aplicación
E S T A B I L I Z A N T E	Fosfato-apatita	Aumento del pH. Estabilización de metales pesados por precipitación, adsorción y complejación.	1000-1500 ton en 1000m ²	8 semanas previo siembra
	Encalado	Aumento del pH. Estabilización de metales pesados por precipitación, adsorción	100kg por 1000m ²	12 semanas previo siembra
R E M E D I A C I O N	Compost	Mejora en la estructura del suelo y contenido de materia orgánica. Estabilización de metales pesados por adsorción, complejación y reacciones redox	2000kg por 1000m ²	1 semana previo a siembra
	Estiércol	Mejora en la estructura del suelo y contenido de materia orgánica. Estabilización de metales pesados por adsorción, complejación y reacciones redox	1000-2000Kg por 1000m ²	1 semana previo a siembra
	Rhizobios	Promoción del crecimiento vegetal. Aporte de nitrógeno al sistema	De acuerdo a indicaciones del proveedor	Al momento de la siembra
	Microorganismos Efectivos	Promoción del crecimiento vegetal. Supresión de patógenos del suelo	Solución al 2% mezclado con compost	Al momento de la siembra

Tabla 2 – Monitoreo del proceso de remediación del suelo y su frecuencia

Previo instalación	Instalación	Post instalación
Evaluación previa a la instalación del sistema de remediación	Evaluación inmediata al la instalación del sistema de remediación	Seguimiento de la efectividad del sistema de remediación
Determinación de parámetros del suelo:	Determinación de parámetros del suelo:	Determinación de Parámetros del suelo:
<ul style="list-style-type: none"> - textura - pH - acidez titulable - capacidad intercambio catiónico - contenido de materia orgánica - nivel de contaminantes (metales pesados) 	<ul style="list-style-type: none"> - biodisponibilidad de metales pesados <p>Determinación de actividad microbiana:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tasa respiración del suelo - contenido carbono de biomasa microbiana 	<ul style="list-style-type: none"> - biodisponibilidad de metales pesados <p>Frecuencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> . cada 6 meses el 1er año . anualmente siguientes años <p>- test de toxicidad (método de lombriz de tierra o <i>Vibrio fischeri</i>)</p> <p>Frecuencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> . anual

3. CONCLUSIONES

En el presente informe se recomiendan una serie de medidas de remediación microbiológica que permitirán sustentar una estrategia de fitoremediación asistida del predio de Isla de Gaspar. Estas medidas son de bajo costo y están disponibles en nuestro país. Por experiencias previas que resultaron exitosas se pone más énfasis en el uso de fosfato-apatita y compost para estabilizar los metales pesados presentes en el suelo, disminuyendo su toxicidad y la exposición para los habitantes de la zona. Además se recomienda el uso de microorganismos efectivos, una tecnología que se ha importado hace algunos años en el país y que es de fácil acceso e implementación.

Es muy importante monitorear a lo largo de los años la efectividad de estas estrategias de estabilización para determinar la necesidad de repetir la enmienda en caso de un aumento de la biodisponibilidad de los contaminantes.

Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Rafael Perolo, Gustavo Diverso

INFORME DE ENSAYO Nro: 44813

Fecha de emisión: 03/10/2017

Página 1 de 6

Nombre del Solicitante: Lobitech S.A. - GEA CONSULTORES

Dirección: Gonzalo Ramirez 2133

Teléfono:

Ciudad: Montevideo (Montevideo)

CÓDIGO INTERNO: **44813-1**

Fecha recepción de la muestra: 26/09/2017

Fecha de Muestreo: 23/09/2017

Identificación:

Punto B Compuesta 5 - 15 m

Muestreo realizado por: Laboratorio Ecotech S.R.L.

Condición de recepción de la muestra: Bollen de vidrio

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 27/09/2017 Y el 29/09/2017

Identificación de muestra por: Ecotech

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Ecotech

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico	4.4	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Plomo	158	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cromo	40	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cadmio	0.4	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Zinc	245	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cobre	132	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Mercurio	<0.3	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Hidrocarburos Totales	493	mg/Kg	EPA 9071 B / EPA 1664	----	----	

Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Rafael Perolo, Gustavo Diverso

INFORME DE ENSAYO Nro: 44813

Fecha de emisión: 03/10/2017

Página 2 de 6

CÓDIGO INTERNO: **44813-2**

Fecha recepción de la muestra: 26/09/2017

Fecha de Muestreo: 23/09/2017

Identificación:

Punto C Compuesta 2 - 4 m

Muestreo realizado por: Laboratorio Ecotech S.R.L.

Condición de recepción de la muestra: Bollen de vidrio

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 27/09/2017 Y el 29/09/2017

Identificación de muestra por: Ecotech

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Ecotech

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico	1.1	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Plomo	1.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cromo	3.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cadmio	<0.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Zinc	7.7	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cobre	1.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Mercurio	<0.3	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Hidrocarburos Totales	----	mg/Kg	EPA 9071 B / EPA 1664	----	----	

Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Rafael Perolo, Gustavo Diverso

INFORME DE ENSAYO Nro: 44813

Fecha de emisión: 03/10/2017

Página 3 de 6

CÓDIGO INTERNO: **44813-3**

Fecha recepción de la muestra: 26/09/2017

Fecha de Muestreo: 23/09/2017

Identificación:

Punto C Simple 11 m

Muestreo realizado por: Laboratorio Ecotech S.R.L.

Condición de recepción de la muestra: Bolsa Plástica

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 27/09/2017 Y el 29/09/2017

Identificación de muestra por: Ecotech

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Ecotech

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico	1.1	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Plomo	1.0	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cromo	0.9	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cadmio	<0.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Zinc	14	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cobre	<1.0	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Mercurio	<0.3	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Hidrocarburos Totales	----	mg/Kg	EPA 9071 B / EPA 1664	----	----	

Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Rafael Perolo, Gustavo Diverso

INFORME DE ENSAYO Nro: 44813

Fecha de emisión: 03/10/2017

Página 4 de 6

CÓDIGO INTERNO: **44813-4**

Fecha recepción de la muestra: 26/09/2017

Fecha de Muestreo: 23/09/2017

Identificación:

Superficial Mateo Cabral Compuesta

Muestreo realizado por: Laboratorio Ecotech S.R.L.

Condición de recepción de la muestra: Bolsa Plástica

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 27/09/2017 Y el 29/09/2017

Identificación de muestra por: Ecotech

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Ecotech

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico	2.1	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Plomo	80	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cromo	7.4	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cadmio	<0.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Zinc	134	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cobre	48	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Mercurio	<0.3	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Hidrocarburos Totales	----	mg/Kg	EPA 9071 B / EPA 1664	----	----	

Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Rafael Perolo, Gustavo Diverso

INFORME DE ENSAYO Nro: 44813

Fecha de emisión: 03/10/2017

Página 5 de 6

CÓDIGO INTERNO: **44813-5**

Fecha recepción de la muestra: 26/09/2017

Fecha de Muestreo: 23/09/2017

Identificación:

Superficial Ricaldoni Compuesta

Muestreo realizado por: Laboratorio Ecotech S.R.L.

Condición de recepción de la muestra: Bolsa Plástica

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 27/09/2017 Y el 29/09/2017

Identificación de muestra por: Ecotech

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Ecotech

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico	1.5	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Plomo	20	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cromo	6.3	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cadmio	<0.2	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Zinc	50	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Cobre	21	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Mercurio	<0.3	mg/Kg	EPA 3051 A / EPA 6010 D	----	----	
Hidrocarburos Totales	----	mg/Kg	EPA 9071 B / EPA 1664	----	----	

Laboratorio Ecotech S.R.L.

INFORME DE ENSAYO Nro: 44813

(*) Método acreditado de acuerdo a Norma UNIT-ISO/IEC17025:2005 por el Organismo Uruguayo de Acreditación

2. Apartamiento de los métodos : No existió apartamiento en la aplicación de los métodos informados.

3. Comentarios : ----

4. Referencia a normas :
- SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edición 22
 - EPA: USEPA-SW 846 (Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods)
 - ASTM Book of Standards
 - MASPA: Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas-Homer D. Chapman
 - HRMPA-Handbook of Reference Methods for Plant Analysis-Soil and Plant Analysis Council-CRC-EEUU
 - AOAC Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th Edition (2012)
 - UNIT Instituto Uruguayo de Normas Técnicas
 - HTP-TNRC Texas Natural Resource Conservation Commission (TNRCC) Total Petroleum Hydrocarbons .Rev 03.June 1,2001.

- LD Límite de detección - LC Límite de cuantificación

- Los datos originales controlados, así como las fechas de realización de los ensayos quedan registrados en las planillas de seguimiento de ensayo del laboratorio con el mismo número que el del informe de ensayo.
- Si la responsabilidad de muestreo corresponde a ECOTECH, el procedimiento de muestreo corresponde al descrito en el instructivo interno vigente correspondiente
- Los resultados del ensayo se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El presente informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin la autorización expresa de ECOTECH.

por ECOTECH
IQ Gualberto Trelles
Director