

Situación de los relaves mineros en Chile



**Gobierno
de Chile**

Servicio Nacional de Geología y Minería
Departamento de Depósitos de Relaves
Agosto de 2016.

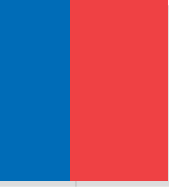


Gobierno
de Chile

Estabilidad Química de Depósitos de Relaves

María Francisca Falcón
Departamento de Depósitos de Relaves
SERNAGEOMIN

Legislación Aplicable



- Ley de bases del medio ambiente, ley 19.300 y sus modificaciones que regulan el sistema de evaluación de impacto ambiental para la obtención de la Resolución de Calificación Ambiental
- Ley 20.551: Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras
- DS248: Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves.
- Las varias modificaciones de estos tres textos





DS248: Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves

- Artículo 5 “El *Proyecto de Deposito de Relaves*: Contiene (...) ingeniería que (...) incluye procedimientos de operación y los métodos y obras consideradas para **garantizar la estabilidad física y química** del deposito (...)”
- Artículo 14 “i) (...)que incluyan: (...) Sistema de purificación de aguas claras, si es necesario; Construcción de vertederos de emergencia; Construcción de canales de desvío de aguas lluvias, y Construcción de canal de contornos.”
- Artículo 14 “I) (...)Sistema de impermeabilización del fondo de la cubeta y su sistema de captación de las infiltraciones si se requiere y su disposición final; Canales perimetrales para la contención de escorrentías, indicando sus dimensiones, y Obras para la intercepción y desviación de cursos de aguas naturales existentes en el lugar de emplazamiento”



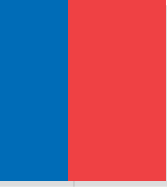


- TÍTULO I; Disposiciones Generales
- Artículo 3° .- Definiciones. Para los efectos de esta ley y su reglamento, se entenderá por:
 - h) *Estabilidad Química*: Situación de control en agua, en aire y en suelo de las características químicas que presentan los materiales contenidos en las obras o depósitos de una faena minera, cuyo fin es **evitar, prevenir o eliminar**, si fuere necesario, **la reacción química que causa acidez**, evitando el contacto del agua con los residuos generadores de ácidos que se encuentren en obras y depósitos masivos mineros, tales como depósitos de relaves, botaderos, depósitos de estériles y rípios de lixiviación.



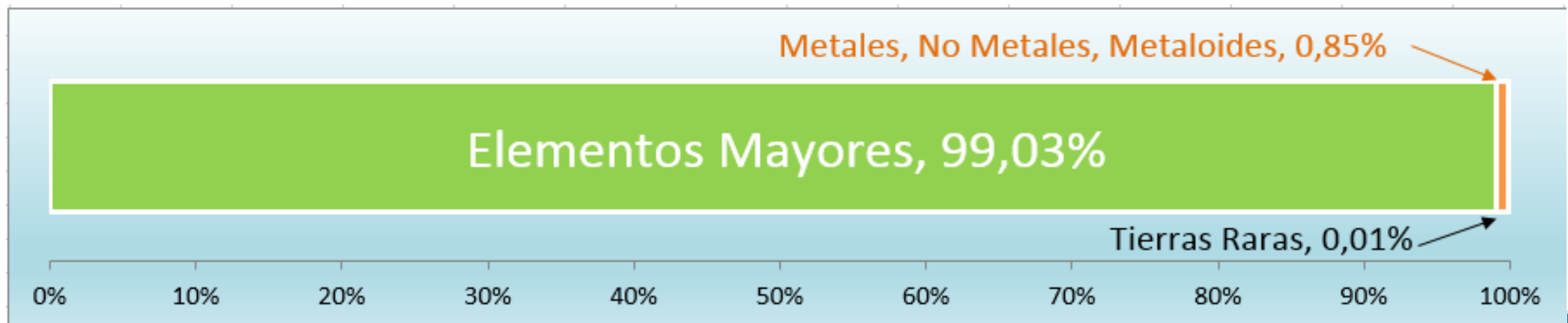
Estabilidad Química; primero tener datos

- El SERNAGEOMIN tiene un Programa de Caracterización Geoquímica de los Depósitos de Relaves del País, tanto en operación como cerrados, abandonados o en cierre temporal
- La composición Geoquímica superficial refleja:
 - los contaminantes que se pueden transportar eólicamente y
 - una noción de valor económico eventual del Depósito
- El Departamento de Relaves revisa los proyectos y opera mediante visitas a terreno en que se verifica la operación y se toman muestras que luego analiza el Laboratorio del Servicio, determinando una cincuentena de elementos

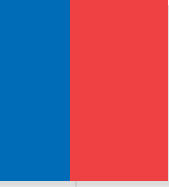


Geoquímica de Depósitos de Relaves

- Es posible estimar la *masa total de elementos formadores de roca*, a partir de la determinación cuantitativa de 11 Elementos mayores, expresados como óxidos de: silicio (SiO_2), aluminio (Al_2O_3), titanio (TiO_2), hierro (Fe_2O_3), calcio (CaO), magnesio (MgO), manganeso (MnO), sodio (Na_2O), potasio (K_2O), fósforo (P_2O_5), azufre (SO_3) y pérdida por calcinación (PPC, esencialmente carbonatos)



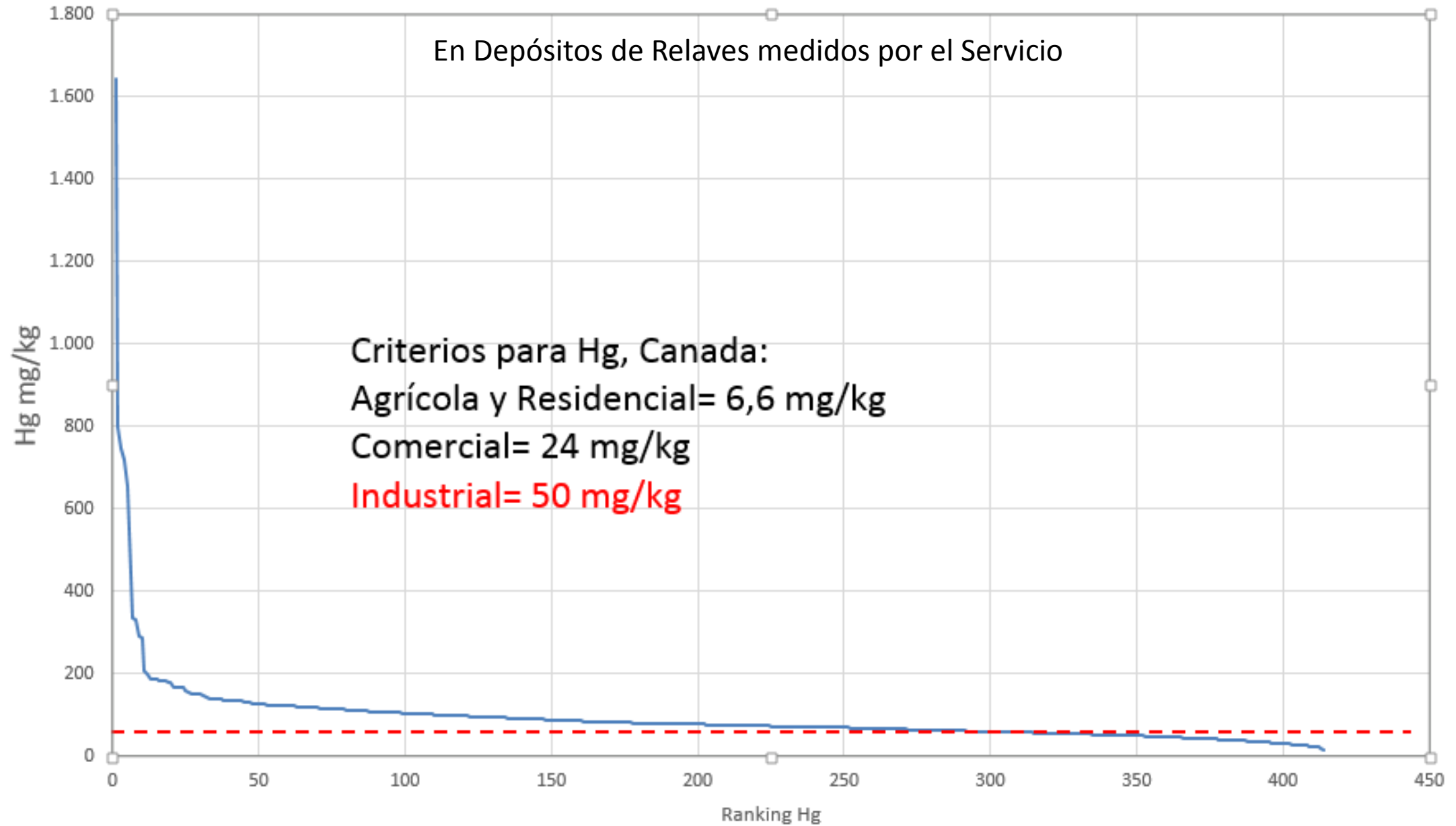
Datos para Análisis Ambiental



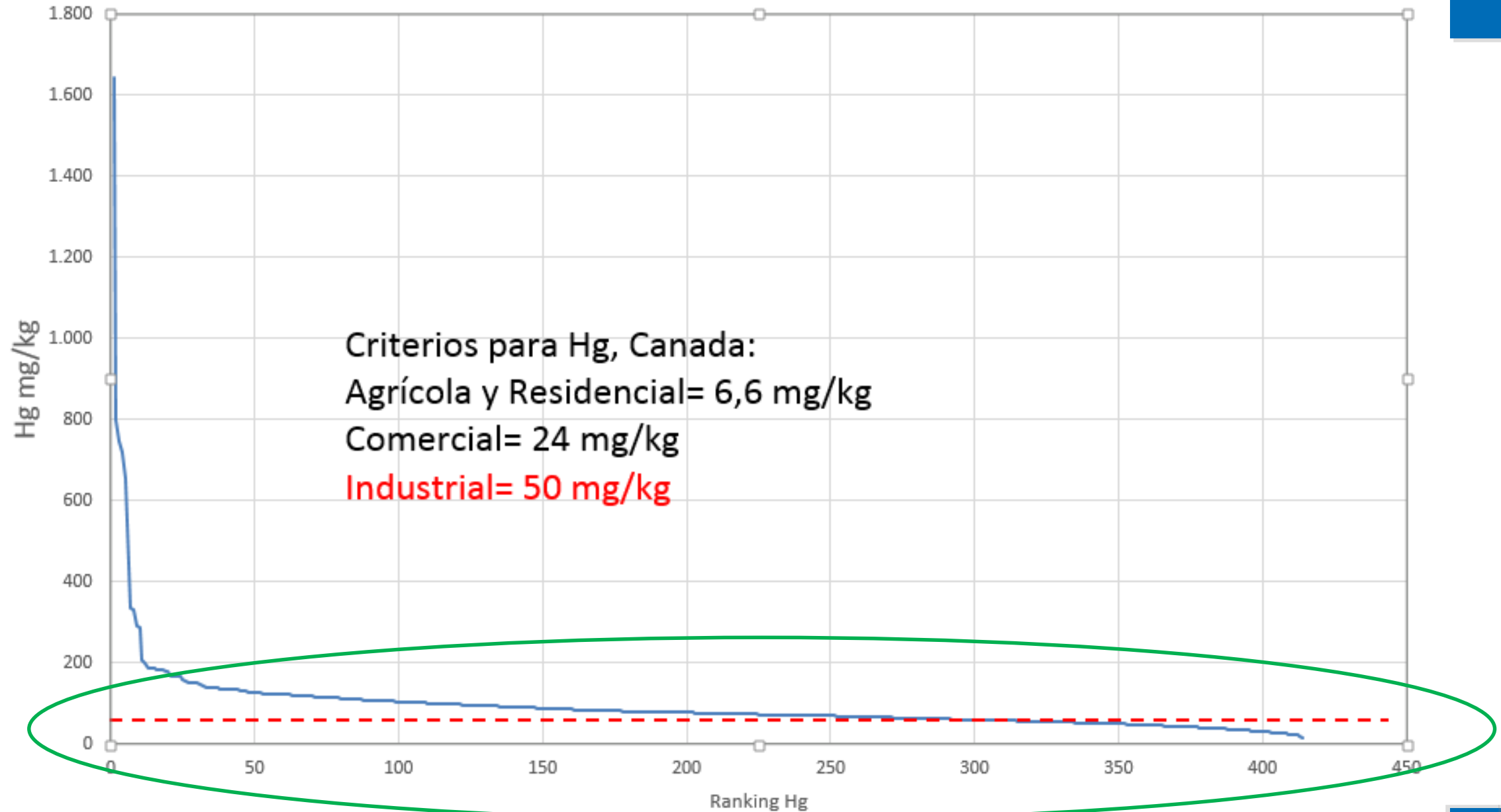
- La superficie de un Depósito de Relaves consiste de material finamente molido
- Este material puede ser arrastrado por vientos, si los hubiese
- La composición del material arrastrado eólicamente desde la superficie será un reflejo de la composición de la superficie del Depósito de Relaves
- Estos datos se deben conjugar con modelos de dispersión y climatológicos para determinar si pueden afectar a poblaciones aledañas
- Ejemplos: Mercurio, Cadmio, Plomo, Níquel y Arsénico



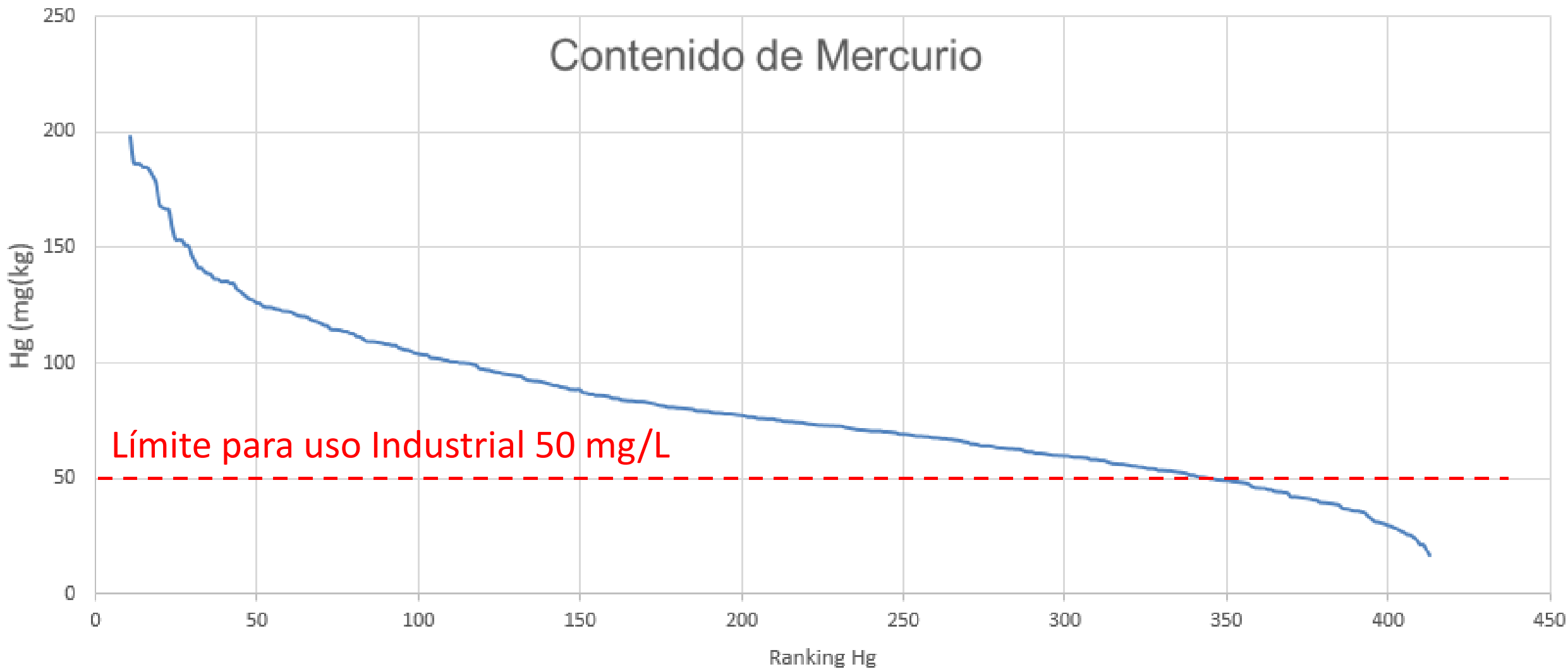
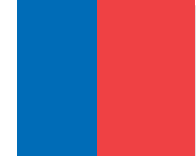
Contenido de Mercurio



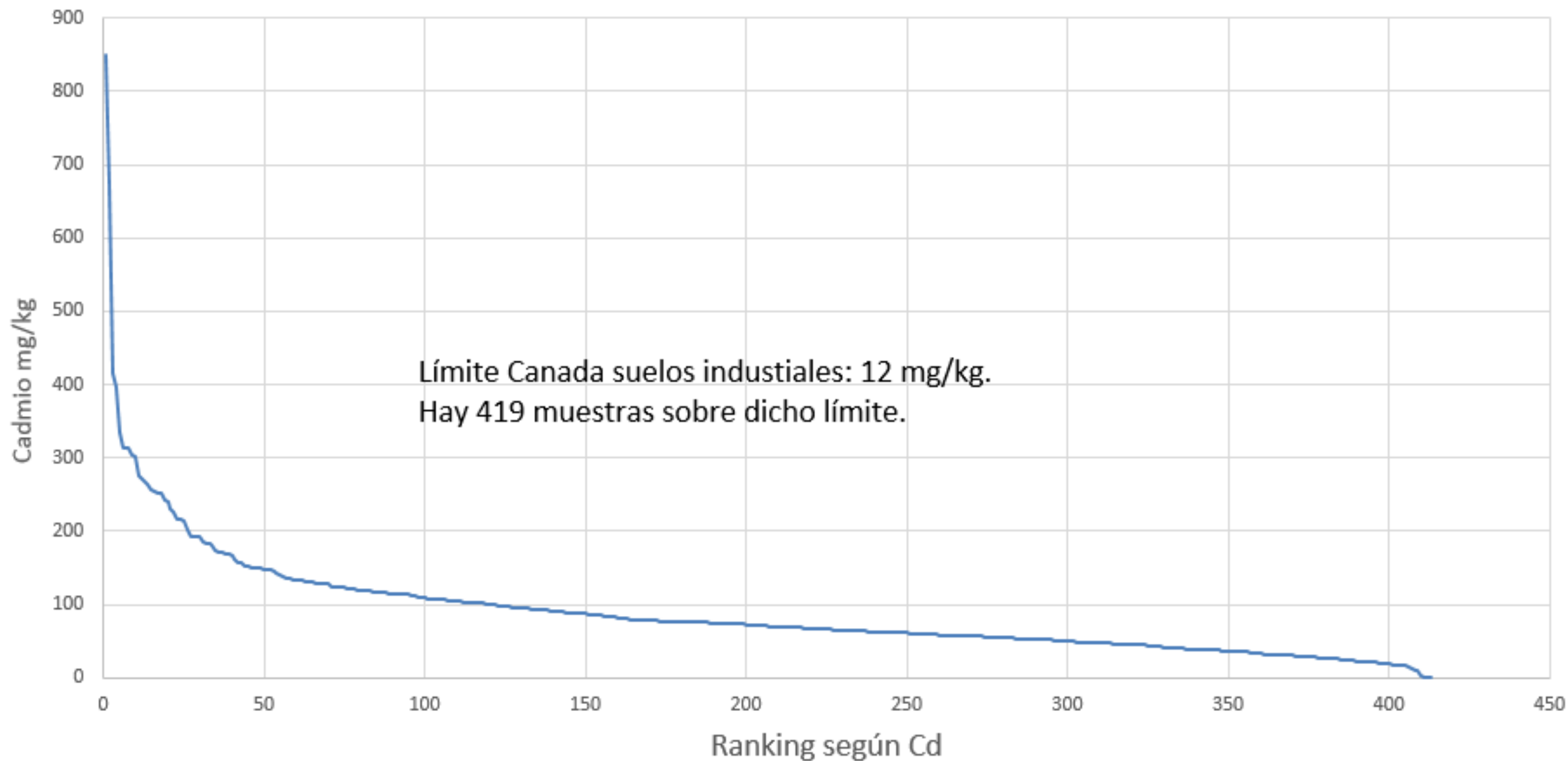
Contenido de Mercurio



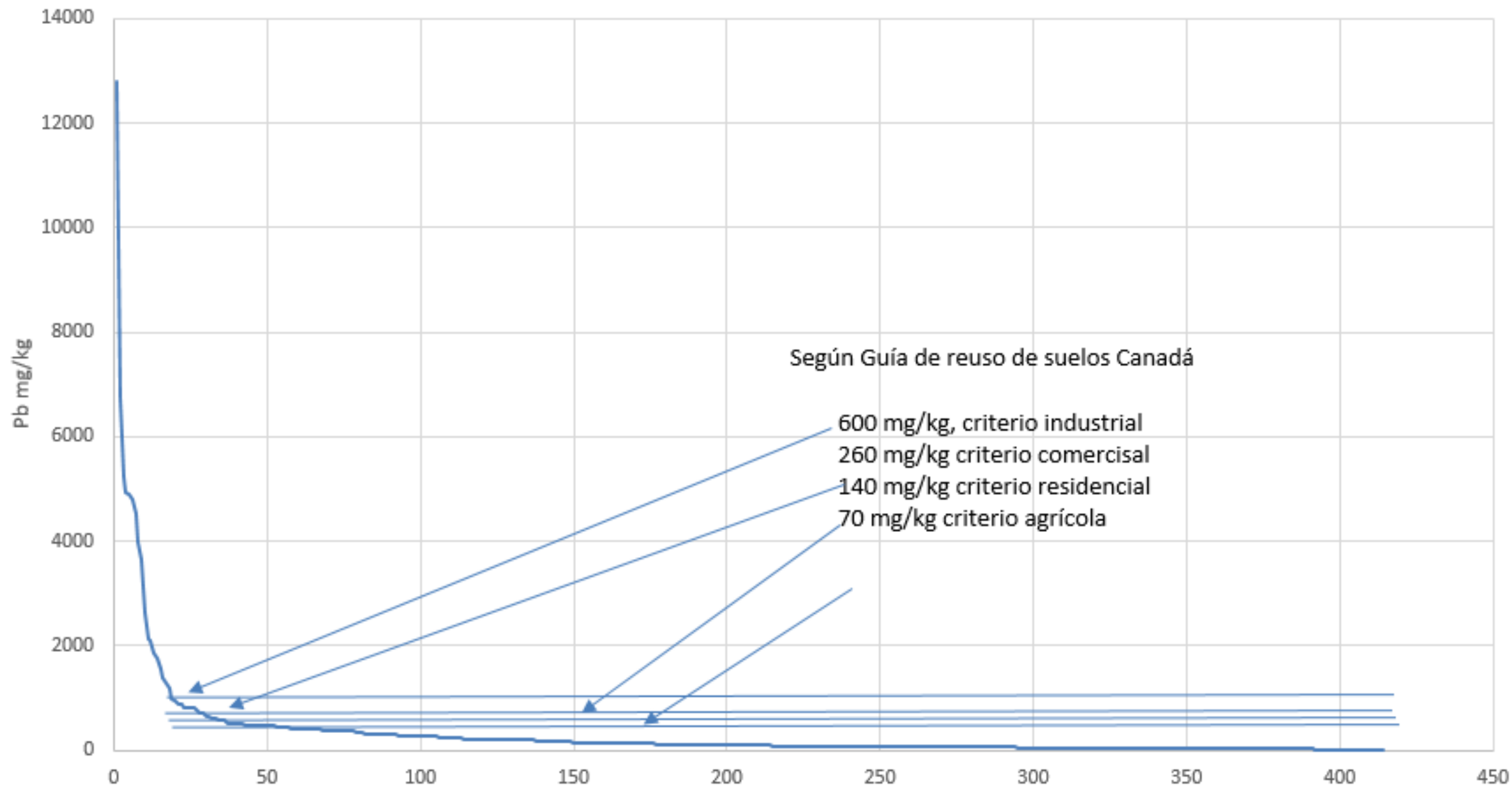
Para muestras con Hg menor que 200 mg/kg



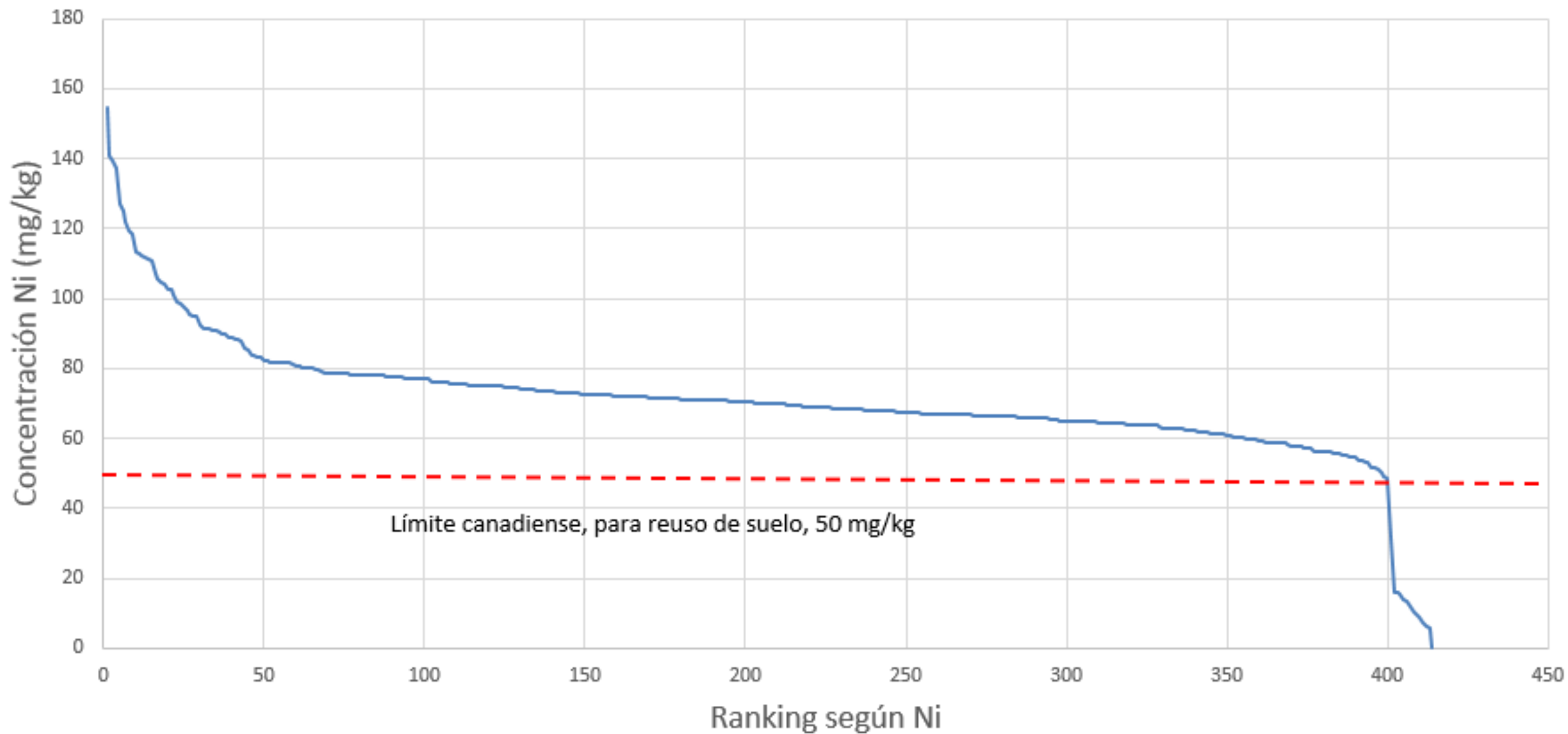
Cadmio en Depósitos de Relave



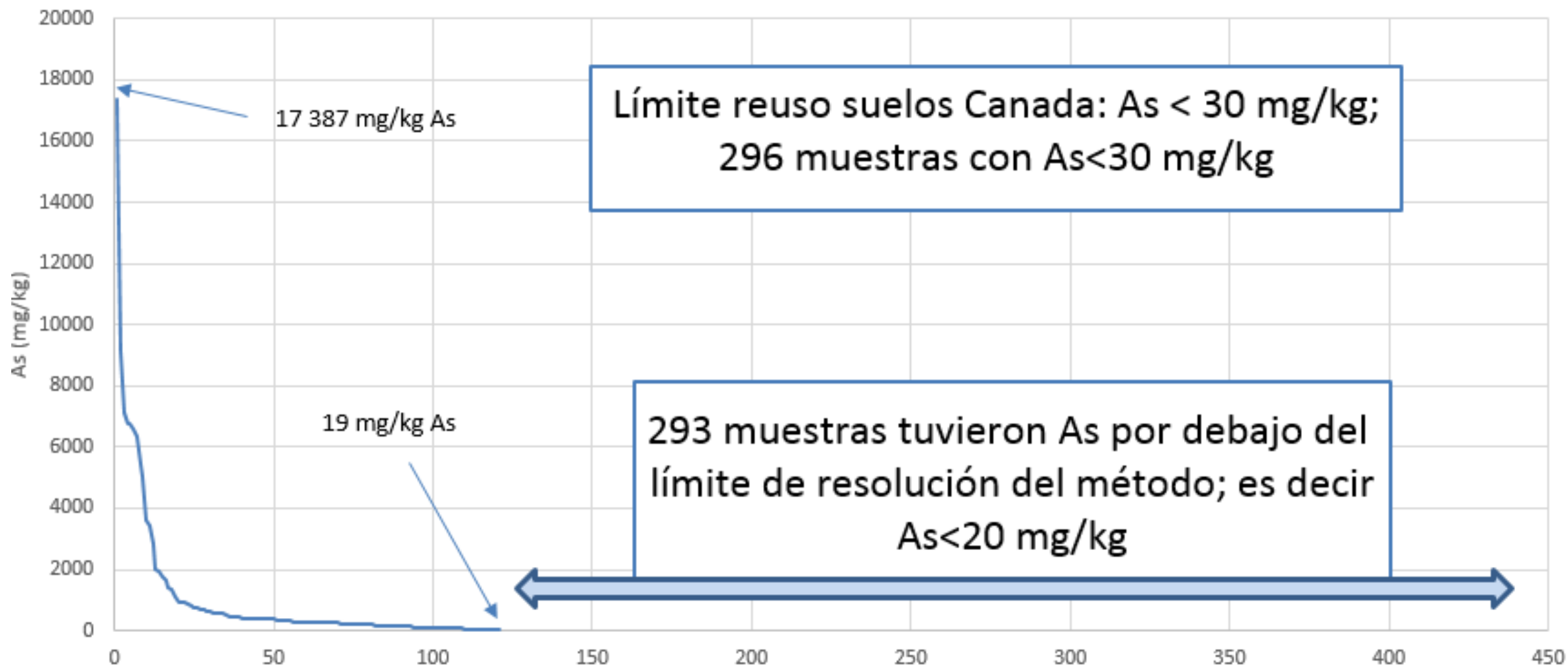
Plomo en Depósitos de relaves

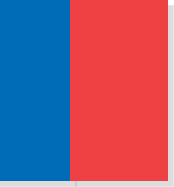


Concentración de níquel en Depósitos de Relaves



Concentración de arsénico en Depósitos de Relaves





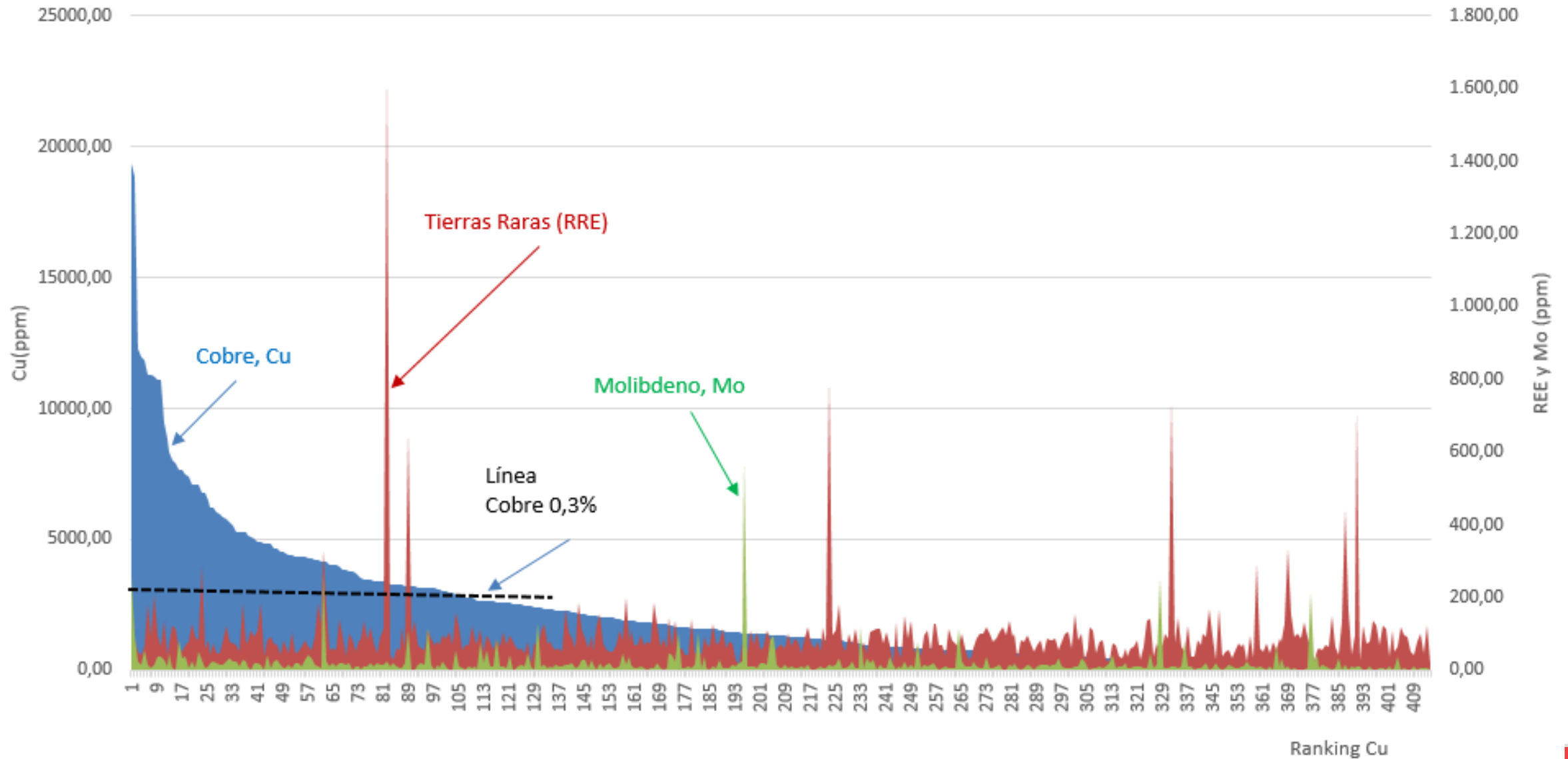
Datos para análisis de valor económico

- Una pregunta en boga (Proyectos CORFO-Programa de Alta Ley; *Convocatoria Recuperación de Elementos de Valor en Depósitos de Relaves*): ¿existen valores económicos rentables en los Depósitos de Relaves del País?
- Si existiesen, proponer su explotación sería una estrategia de control y cierre riguroso de Depósitos de Relave antiguos (la “re-minería” postulará un proyecto que debe contemplar el Plan de Cierre de acuerdo a las leyes actuales)
- Naturalmente, sería necesario conocer la composición de todo el Depósito, no sólo la superficie. Aún así, puede dar una primera aproximación al caso



Valores de Cu, RRE y Mo, según concentración decreciente de Cobre

En Depósitos de Relaves medidos por el Servicio





Gestión de la Estabilidad Química: gestión del riesgo de generación de drenaje ácido

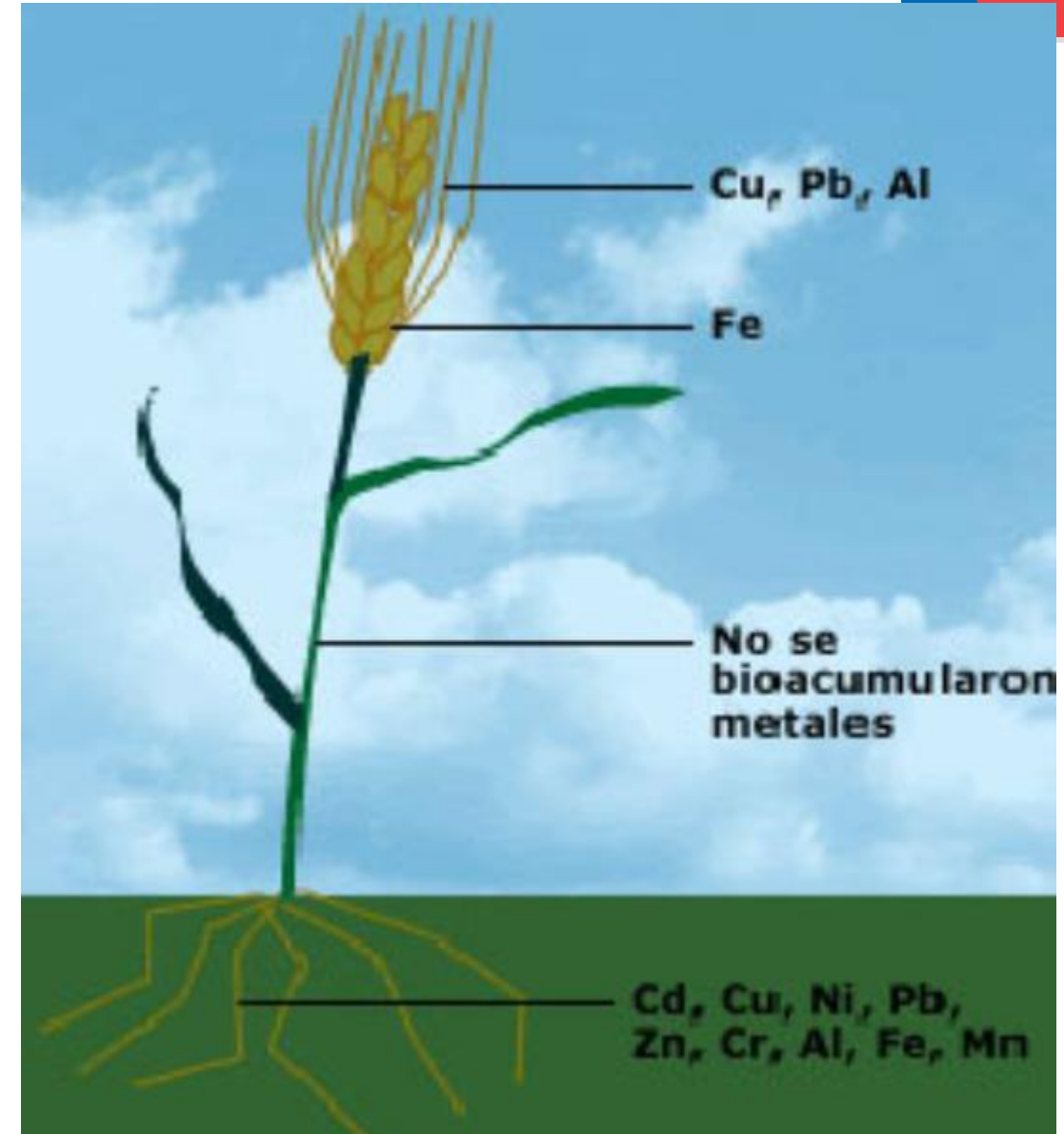
Exploración	Evaluación	Diseño	Operación	Cierre	Post-Cierre
Regulaciones Corporativas y Contexto Comunitario (licencia social)					
Entorno Social, Ambiental y Económico (sustentabilidad)					
Gestión de la Estabilidad Química					
Gestión Ambiental de la Mina					

La gestión de la estabilidad química tiene lugar a lo largo de todo el proyecto minero, desde la exploración hasta muchos años después del cierre de faena



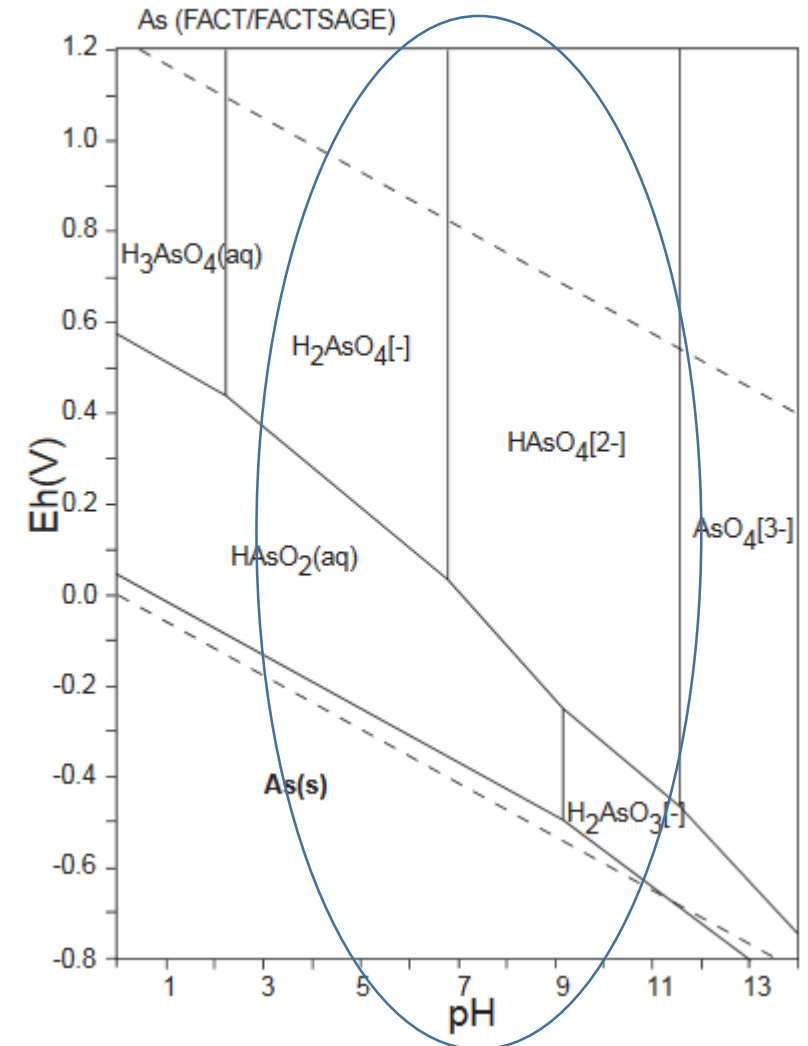
No es sólo la acidez, naturalmente: Movilización de metales lixiviados, desde el Depósito de Relaves hacia el ecosistema

- El problema no es solamente el ácido
- El ácido migra en el depósito, lixivando metales que quedan disueltos
- Los metales interactúan en el ecosistema y se “bioacumulan” en las plantas y microorganismos del suelo
- Los metales circulan en los diversos niveles tróficos y pueden llegar, en general, hasta los seres humanos



Estabilidad química, por ejemplo: arsénico

- Se debe impedir (prevenir) la generación de ácido en los depósitos, por ejemplo si contiene Arsénico
- La generación de ácido implica la concomitante lixiviación de metales y metaloides del Depósito
- El arsénico, una vez lixiviado, permanecerá en solución a pH 7 (y potenciales oxidantes en equilibrio con la atmosfera)
- El diagrama simplificado (especies “puras”) muestra la solubilidad a pH neutro



Impacto en fase líquida

- Los Depósitos pueden infiltrar a las napas o a cauces superficiales
- Dicha infiltración podría ser ácida, a partir de sulfuros de metales, en oxidación acuosa
- Una gran diversidad de sulfuros de metales y metaloides se lixivian (disuelven) en presencia de ácido
- Las aguas de un depósito de relaves contienen, al menos en trazas, todos los metales y metaloides que existen en los minerales del relave
- Al elevar posteriormente el pH (mitigación o neutralización) permanecen en solución los metaloides As, Se y Sb, además de otros metales en traza (Cu, Cd, Cr, Mn, Mo y Zn) que resultan tóxicos

Características Geoquímicas: ejemplo

- La composición geoquímica o mineralógica de los Depósitos de Relaves actuales, abandonados o en operación, no suele ser considerada
- Sin embargo, esta información es importante para evaluar **alternativas** al cierre (Desarrollo de minería secundaria, Reorganización de contenidos del depósito, Encapsulación de sectores generadores de ácido, etc.)
- POR EJEMPLO: En una mina canadiense (Diavik) se clasificó el relave según sulfuro total, como azufre, S:
 - Por sobre 0,08% era generador potencial de ácido
 - Entre 0,02 y 0,08% era de potencial incierto
 - Bajo 0,02% no era generador de ácido
- Luego, se pudo organizar la depositación del relave, sectorizando para minimizar la generación de ácido.

- Waste rock segregated base

Deposito en celdas según capacidad
ácida

Type I < 0.04 wt. % S

Type II 0.04 – 0.08 wt. % S

Type III >0.08 wt. % S

Método citado como
“encapsulación”



No generador de ácido (tipo I)

Generador de ácido (tipo III)

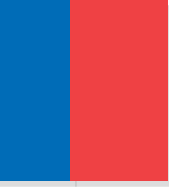
No generador de ácido (tipo I)

Soluciones conocidas, técnicamente muy diversas

ver, por ejemplo, capítulo 6 GARD Guide o capítulo 5 Guía Metodológica SERNAGEOMIN

- Múltiples soluciones en el mundo
- Las que han operado mejor son las preventivas
- Alternativamente, los costos de remediación son estratosféricos (notando que no es sólo neutralización, sino también remoción de metales)
- Chile deberá adoptar soluciones tanto para nuevos proyectos (ya que se incrementará la extracción al año 2035) como para depósitos establecidos

Relave inocuo



- Un Depósito de Relaves no reactivo (químicamente estable) será aquel que no genera ácido ni contiene contaminantes
- En tal caso, el Cierre no contemplará más desafíos que el monitoreo permanente a futuro y sería posible forestarlo si la estabilidad física lo permite
- Para la minería en general, un objetivo moderno podría ser la generación de relaves inocuos en el proceso minero presente
- Esta alternativa requiere evaluación técnica y económica en cada proyecto minero pero ofrece grandes ventajas



Percepción pública



- En Chile, a pesar de ser un país minero de larga data, los Depósitos de Relave tienen mala reputación y generan tensiones en la población
- Afortunadamente, sin embargo, los Depósitos de Relaves han resistido incluso terremotos y aluviones de magnitud superior a la de diseño
- Se están desarrollando diversas iniciativas para mejorar la relación de la población con el proyecto minero, al calor de los mismos fondos que ha puesto a disposición el Estado, por ejemplo en el caso de la línea de financiamiento: *Convocatoria Desarrollo de Herramientas Tecnológicas para el Monitoreo de Depósitos de Relaves*



Tarea de futuro



- Todos los actores tenemos un gran desafío por delante
- El incremento de producción de cobre se postula como una iniciativa sustentable que compromete a todas las instituciones con capacidad de desarrollo tecnológico e innovación
- El SERNAGEOMIN es parte integral de este desarrollo y apoya las iniciativas vigentes y futuras en el campo del uso sustentable de recursos comprometido por el País
- Habrá que concordar las medidas que permitan que los Depósitos de Relaves sean químicamente estables

