

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE DEPÓSITOS DE ESTÉRILES Y SEDIMENTOS PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD CARBONÍFERA EN RÍO TURBIO.

Mst. Ing. Alba Lucía Caballero
Docente Investigador UNPA
albaluciaballero@yahoo.com.ar

Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Unidad Académica Río Turbio

Río Turbio, marzo de 2008

RESUMEN

A lo largo de décadas de actividad carbonífera en la cuenca de Río Turbio ubicada al sudoeste de la provincia de Santa Cruz en la República Argentina, se ha generado una serie de pasivos ambientales entre los cuales se encuentran los depósitos de material estéril denominados escombreras, las piletas de lodos y los sedimentos del curso de agua receptor de efluentes, el arroyo San José.

La presencia de estos pasivos, ha ocasionado en distintas partes del mundo complicaciones debido a la naturaleza ácida de las escorrentías que afectan directamente fuentes de agua, superficiales y subterráneas, localizadas en la vecindad de dichos depósitos. El problema se produce cuando dicha acidez no puede ser neutralizada, lo cual ocasiona la generación de lixiviados de metales pesados en las escombreras o redisolución de los que se encuentran depositados como sedimentos en los cursos superficiales.

Por tal motivo en este trabajo se realiza una evaluación preliminar del contenido metálico de los depósitos de estériles y de los sedimentos del arroyo San José y de la capacidad de generación ácida de los primeros. Se pretende con ello obtener una información básica que permita un diseño experimental científico para caracterizar dichos depósitos y evaluar el impacto que están produciendo.

Como conclusión se pudo corroborar la hipótesis inicial de existencia de contenido metálico en escombreras y sedimentos y un potencial neto de generación ácida de las primeras. Además se determinó la necesidad de investigar el origen de altos contenidos metálicos en sedimentos de zonas alejadas de la producción.

Palabras Claves: carbón/ escombreras/ sedimentos/ caracterización / impacto

INTRODUCCIÓN

En la cuenca carbonífera de Río Turbio, ubicada al sudoeste de la provincia de Santa Cruz en la República Argentina; la explotación de carbón ha representado la principal actividad productiva de la región y es la que ha dado origen al asentamiento y desarrollo de poblaciones que en la actualidad constituyen dos núcleos habitacionales: Río Turbio y 28 de Noviembre

La minería del carbón es considerada una actividad que trae aparejada una serie de impactos que involucran el suelo, el agua y el aire del área donde se desarrolla y a lo largo de varias décadas de explotación dichos impactos han originado en la citada región una serie de pasivos ambientales entre los que se encuentran grandes depósitos de estériles, llamados escombreras y sedimentos en cursos de agua superficiales, receptores de las descargas de efluentes provenientes de la citada actividad (Caballero A., 2008).

Lo dicho anteriormente no constituye una excepción ya que existe un paralelismo entre la explotación carbonífera de Río Turbio con las realizadas en el contexto internacional. Esto se debe a que hasta casi fines del siglo pasado, la relación del hombre con la naturaleza ha seguido un modelo antropocentrista tecnocrático: “La naturaleza reducida a simple objeto, a fuente de recursos” (Ballesteros J., 1995).

Identificar los pasivos ambientales mencionados, caracterizarlos y evaluar su impacto constituye el punto de partida para iniciar acciones de remediación. Por tal motivo el objetivo de éste trabajo es realizar, una selección y evaluación inicial de parámetros químicos indicadores de contaminación, tanto de las escombreras como de los sedimentos del curso de agua receptor de efluentes, partiendo de la hipótesis de que los residuos sólidos provenientes de la explotación carbonífera y de la central térmica poseen un contenido metálico que podría ser disuelto en caso de existir drenajes ácidos e impactar negativamente en fuentes naturales de agua.

Los resultados obtenidos serán de mucha utilidad para realizar un diseño experimental acertado que permita caracterizar científicamente dichos depósitos y evaluar el impacto que están produciendo en caso de lixiviar metales.

En primer lugar se hizo un análisis de la procedencia de los diferentes residuos sólidos que han sido y son depositados respectivamente en antiguas y actuales escombreras. Luego se determinaron los análisis y ensayos a realizar sobre muestras de escombreras y sedimentos del curso de agua receptor de efluentes industriales, el arroyo San José. Con los valores obtenidos se realizaron análisis obteniendo como conclusión preliminar que tanto las escombreras, las piletas de lodos y los sedimentos posee contenidos de los metales pesados analizados (hierro, manganeso, plomo cobre cinc, mercurio cadmio y cromo).

Por otra parte se ha determinado que tanto los estériles gruesos recientes como los antiguos tienen un potencial neto de generación de ácido.

El hecho mencionado en el párrafo anterior, los estudios existentes sobre el curso de agua aledaño a las escombreras que no evidencian una alteración originada por las escorrentías y la presencia de altos contenidos metálicos en la zona tomada como referencia (sin aportes de la actividad carbonífera) indican que es necesario profundizar en un caso y ampliar en otro los estudios a fin de corroborar o rechazar las hipótesis surgidas de este estudio preliminar.

1. MARCOS DE REFERENCIA

1.1 MARCO CONCEPTUAL

En la explotación minera se producen movimientos de suelo cuya magnitud depende de factores técnicos y están relacionados además con el tipo de mineral a extraer. Estos movimientos además de provocar alteraciones en el estado natural del suelo, ocasionan cambios en el entorno que alteran la fisonomía del paisaje.

En el presente siglo ha surgido el concepto de paisaje colectivo como respuesta a una necesidad social para el conjunto de la comunidad. Plantear la rehabilitación de un entorno pretende mejorar el paisaje colectivo para lograr la armonía y la conciliación del hombre con su medio.

Una zona apreciada por la población por su valor paisajístico constituye un paisaje colectivo y al actuarse sobre ella se deberá rehabilitar dado que la percepción de su utilidad como bien de carácter no económico es alto (Porta J. et al., 1999).

1.1.2 Explotación

En la minería del carbón existen dos formas de realizar la explotación de un yacimiento: Explotación a cielo abierto y Explotación subterránea.

La explotación a cielo abierto, se practica en aquellos casos donde el manto de carbón se encuentra a pocos metros de la superficie del terreno. Consiste en quitar completamente el recubrimiento “estéril” (decapado) para extraer el material útil provocando de esta forma grandes cortes en el terreno y movimientos de grandes volúmenes de tierra. El impacto visual es muy espectacular puesto que abarca superficies extensas a las que se agregan aquellas destinadas a depósitos de estériles denominadas escombreras. Por lo tanto por un lado se eliminan capas superficiales del suelo en algunos lugares de extracción y por se otro cubre superficies mediante el establecimiento de las escombreras.

Los efectos ambientales dependen siempre de la extensión del terreno explotado ya que conlleva una alteración significativa de la corteza terrestre: La superficie se ve afectada debido a la devastación de la misma, alteración de su morfología y peligro de derrumbe en los frentes de arranque. Por lo que respecta al suelo, produce erosión en la zona de explotación disminución del rendimiento, desecación y hundimiento del suelo.

La explotación subterránea (propio de la minería tradicional), se practica mediante labores a varios metros de la superficie siguiendo los mantos más potentes con movimientos menores de material que en la explotación a cielo abierto.

Abarca todas las actividades destinadas a extraer el mineral al cual se accede mediante galerías que lo comunican a la superficie y por el cual se extrae junto con el material no carbonoso (estéril). Las actividades que involucran el movimiento de material, incluye la construcción de las galerías principales que conducen al manto de carbón en sí y las secundarias que se usan para ventilación y /o circulación general creándose de esta manera espacios bajo la tierra. Esta práctica también da lugar a la formación de escombreras externas que cubren vastas superficies de terrenos.

Los efectos ambientales se producen en tres ámbitos distintos: En el depósito y las rocas adyacentes, en los espacios abiertos bajo tierra y en la superficie del terreno.

El efecto sobre el yacimiento y las rocas adyacentes está en que al extraerse la materia prima se pierden recursos naturales y se deterioran otras secciones del yacimiento. Por otra parte la construcción de galerías crea cavidades y causa tensiones y movimientos en la roca adyacente. Los efectos en la misma incluyen hundimientos causados por la caída de las rocas en los espacios excavados lo cual puede modificar incluso la superficie del terreno. Por otra parte puede colapsar las partes del techo de la mina como resultado de una planificación deficiente en los trabajos de extracción.

Los efectos en la superficie del terreno están relacionados con la deposición de estériles en las zonas destinadas a tal fin.

Hay que tener en cuenta que además del material vertido en la escombrera producto de la explotación por cualquier método; se agrega el proveniente del proceso de depuración del carbón en los casos que el material extraído no cumpla con las necesidades de calidad exigidas.

1.1.3 Explotación del carbón en Río Turbio

La explotación del carbón en Río Turbio fue y es por medio de labores subterráneas. El método de explotación es el de frentes largos, en retroceso, con derrumbe de techo controlado. No obstante en la década del '90 se practicó en un sector la explotación a cielo abierto, en un lapso que abarcó aproximadamente dos años desde el inicio del decaído (Caballero A., 2004). La misma fue abandonada debido a la baja calidad del mineral extraído a lo largo de todo el periodo de explotación (Figura 1)

El mineral tal cual sale de la mina, es transportado por medio de una cinta transportadora a una planta depuradora donde se somete a una separación densimétrica de estériles para mejorar su calidad. De este proceso se obtiene aproximadamente 50% de mineral comercial y un 50% de estériles.



Figura 1: Explotación a cielo abierto practicada en la década del '90 (Caballero A., 2004)

1.1.4 Depuración del carbón

La depuración del carbón es el proceso mediante el cual el material combustible es separado de la fracción inerte (estéril o ganga), a fin de obtener un producto comercialmente y ambientalmente más apto.

Existen distintas tecnologías para llevar a cabo dicha operación. En general es un proceso vía húmeda con un elevado consumo de agua, de ahí que a las plantas depuradoras se las denomine “lavaderos”.

Como residuo del lavado del carbón, pueden obtenerse distintos tipos de corrientes. Por un lado, grandes volúmenes de material estéril de granulometrías más gruesas (mayor de 0,5 mm.), el cual es depositado en playas preparadas a tal fin denominadas “escombreras”. Las mismas son, como se dijo en el apartado anterior, receptoras del material proveniente de la propia explotación del carbón. Por otro lado se produce el denominado “lodo residual”, que es una corriente de agua con una elevada concentración de sólidos en suspensión finamente dividido (menor de 0,5 mm.) proveniente del carbón bruto que ingresa al lavadero y del generado como consecuencia de las operaciones de transporte y tratamiento mecánico del mineral involucradas en el proceso. Esta corriente ha sido una de las causas principales de aportes de sólidos a los cursos superficiales, en la medida que la práctica corriente de muchos lavaderos del mundo y de éste en particular ha sido la descarga de la misma sin tratamiento. Actualmente este lodo es conducido a las denominadas “Piletas de lodo” donde se produce la sedimentación del material más grueso, mientras que el de naturaleza coloidal es descargado, como desborde, directamente en un curso de agua superficial denominado arroyo San José.

1.1.5 Combustión del carbón

La combustión del carbón se realiza en las Centrales Carboeléctricas, existiendo diferentes tipos de tecnologías de las que dependerán los residuos sólidos generados.

En la central eléctrica de Río Turbio la combustión se realiza aún en parrillas y las cenizas, luego de ser apagadas, son conducidas por una cinta transportadora a un elevador a cangilones desde donde se depositan en una tolva para ser transportada por camiones a la escombrera.

1.1.6 Movimiento de materiales

En función de lo expuesto en el apartado anterior podemos decir que el movimiento de material se produce:

- a) Desde el interior de la montaña debido a las construcciones de galerías.
- b) Vertido en una escombrera del material estéril proveniente de la explotación en sí y por otro lado del proceso de depuración y combustión del carbón.
- c) Estéril fino depositado en las piletas de lodo.

Los estériles de la depuración del carbón (que constituyen el mayor volumen del material depositado superficialmente) son descargados actualmente por medio de una cinta

transportadora de 1000 metros. de longitud en la ladera de las elevaciones ubicadas frente a la planta depuradora (Figura 2).

Antiguamente (poco más de una década atrás), el mismo era transportado mediante camiones y depositado en la falda de las elevaciones antes mencionadas siendo reacomodado periódicamente mediante máquinas. Actualmente se observa este material constituyendo terraplenes (ver Figura 2) que se extienden en una longitud aproximada de 1500 metros. Los mismos descansan en el humedal conocido como “Vega San José”.

Las condiciones geológicas de esta zona lo hacen un suelo muy compresible: bajo peso específico, alto tenor de agua, baja permeabilidad y débil resistencia al corte. Por tal motivo esta zona solo puede soportar una limitada altura del terraplén (Salso J., 1982).

Hacia el este de la planta depuradora se encuentran escombreras donde se han vertido materiales de diversa índole: Estériles gruesos de depuración, material proveniente de la mina y cenizas provenientes de la central térmica los cuales reencuentran formando taludes que bordean en arroyo San José (Figura 3).



Figura 2: Depósitos de Estériles. En la parte superior, cabezal de cinta de la escombrera actual. En la parte inferior, terraplenes de antiguas descarga de estériles sobre el humedal San José.(Caballero A.,2004).



Figura 3: Escombreras situadas en las márgenes del arroyo San José (Caballero A, 2008).

En la figura siguiente se muestra una pileta de lodos actualmete saturada.



Figura 4: Vista de una pileta de lodos y terraplén.(Caballero A.,2008)

1.1.7 Sedimentos

El sedimento es el material particulado de origen natural o antrópico, transportado y depositado junto con agua intersticial, en el lecho de los cursos de agua o lagos. Tiene una importancia vital en el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos al servir a organismos y participar en los procesos de mineralización y descomposición de material potencialmente tóxico. Las condiciones físicas, químicas y biológicas en la masa de agua determina el grado de adsorción de los sedimentos y la fuerza de la unión química de los contaminantes. Entre las primeras se puede mencionar el tamaño de partícula: mientras más fina es la granulometría, mayor capacidad de adsorción. Entre las condiciones químicas son importantes el pH, el potencial redox y la conductividad.

Debido a que los sedimentos tienen tendencia a comportarse como sumideros, la concentración de contaminantes en ellos puede ser mayor que en la masa de agua, a tal punto, que puede alcanzar niveles biológicamente tóxicos no detectables en análisis de agua. Esta toxicidad puede afectar a los organismos por contacto directo o por ingestión.

Los estudios de caracterización de contaminantes en sedimentos es una práctica frecuente dentro de los programas de monitoreo de las minas. La práctica común consiste en la determinación de las concentraciones de contaminantes totales del grueso de los sedimentos, lo cual es indicativo del potencial tóxico y no de la biodisponibilidad. Ésta última es investigada en otros niveles de monitoreo cuando la acumulación de contaminantes en ellos excede las guías regulatorias de la calidad de los sedimentos o específicas del emplazamiento (Malcom Mc Kee, 1998).

Estudios realizados (Horowitz J., 1985) han determinado la capacidad de retención de contaminantes, en especial metales traza, de la fracción fina de sedimentos (menor de 63 micrones); ya sea por razones físicas (mayor superficie específica) o química (capacidad de uniones químicas fuertes). Este tamaño es característico del material denominado limo y

arcilla, por tal motivo en un programa de monitoreo básico las determinaciones deben concentrarse en las zonas de deposición donde predomina este tipo de material .

Cuando hay una variabilidad grande de tamaños, esta se puede subsanar, realizando análisis químicos por fracciones, introduciendo un factor de corrección por granulometría o bien utilizando la concentración de una sustancia conservadora.

1.1.7.1 Diseño de estudio

Existen diferentes diseños de muestreo de sedimentos en función del objetivo que se persigue. Si se trata de monitorear la influencia espacial y temporal de la descarga de una fuente puntual, se tendrán presente los siguientes aspectos:

- Las áreas, estaciones y unidades de muestreo se deben ubicar en las zonas de deposición de grano fino detectadas en un relevamiento.
- La primera área o estación de muestreo de impacto se fija en la zona de deposición mas próxima al punto de descarga.
- Las áreas o estaciones adicionales, se ubicarán en las zonas deposicionales detectadas aguas debajo del punto de descarga, a intervalos fijos crecientes.
- Las últimas áreas o estaciones se ubicarán aguas abajo en un establecimiento deposicional alejado de los efectos del impacto.
- Deberán seleccionarse varias áreas de referencia para abarcar las variaciones en la composición química debido a las diferencias de mineralización local.

Para realizar un análisis estadístico de potencia se debe poseer datos históricos o recolectar como mínimo cinco muestras durante un monitoreo de base. Esto definirá la cantidad de estaciones (o repeticiones) requeridas para un nivel de precisión dado. Si los requerimientos están más allá de las capacidades técnicas o financieras se procederá a perfeccionar la lista de parámetros y / o disminuir las estaciones, o a reevaluar el nivel de precisión y de confianza requerido basándose en la toxicidad del o los contaminantes a evaluar.

Se debe estimar los requerimientos de peso seco de la muestra para todos los análisis dado que ello definirá la necesidad y cantidad de unidades de muestreo. Cuando el diseño no contempla horizontes verticales distintos, entonces una única muestra a granel será suficiente.

Por lo que respecta a la profundidad hasta la cual se debe extraer la muestra, la región de interés para la mayoría de los propósitos comprende la capa superior, menor o igual a 5 cm.

1.1.8 Contaminación de agua a partir de las escombreras

Los problemas de contaminación de agua originados a partir de las escombreras se derivan de los drenajes de las escorrentías (drenajes ácidos) los que suelen ser colectados en el mejor de los casos en canales y cunetas. Además pueden provenir de las aguas de infiltración que llegan a las profundidades y luego afloran a la superficie, de los taludes ubicados en cotas más bajas tras tiempos de residencia variable o bien, de bolsas de agua atrapadas durante el

proceso de apilamiento de los estériles con largos periodos de contacto con el mismo, hasta que afloran a la superficie en forma de surgencias (Monterroso C. y Macías F. 1998). Estas corrientes suelen ir a parar sin tratamiento previo a los cursos de agua superficial o bien provocar la alteración de los acuíferos al llegar a ellos por infiltración.

Estudios realizados de las aguas de escombreras de lignitos de As Pontes en España (Monterroso C. y Macías F., 1998) dan cuenta de las variaciones espaciales y temporales que sufre la composición de las mismas relacionada a la oxidación de los sulfuros. Estas variaciones están determinadas por el tipo de material que atraviesan, por el tiempo de contacto con él y por las condiciones climáticas.

Las aguas de peor calidad están extremadamente afectadas por la oxidación de los sulfuros, de carácter fuertemente ácida, oxidante, recogida en las partes más antiguas de la escombrera con suelos de mina en los que son abundantes los sedimentos carbonosos ricos en pirita y con muy escaso potencial de neutralización.

Las aguas menos afectadas por la oxidación de la pirita y mejor neutralizadas proceden de las áreas donde se encuentran depositadas en la superficie pizarras de carácter alcalino y escaso contenido de azufre.

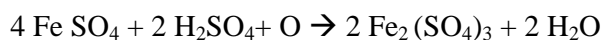
Los drenajes ácidos (DA) en los que la acidez del mineral excede la alcalinidad, contienen elevadas concentraciones de sulfatos, hierro, manganeso, aluminio y otros iones. Estos se producen a partir de la interacción de minerales sulfurosos, agua, oxígeno y la presencia de bacterias. En los carbones bituminosos, uno de los minerales sulfurosos presentes es la pirita (Fe S_2 , sulfuro de hierro II) el que se encuentra en el material no carbonoso llamado "estéril". Este es uno de los grandes problemas relacionados a la contaminación del agua en muchas regiones mineras de todo el mundo (Kinney, 1964; Glover, 1982; Calvo y Pérez; 1994).

La geoquímica de los DA ha sido objeto de numerosas investigaciones entre las que se pueden mencionar: Alpers, Blowes et al (1994), Nordstrom and Alpers (1996) entre otros.

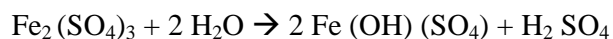
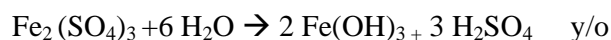
Básicamente la reacción de oxidación de los sulfuros comienza cuando se ven expuestos a la acción del aire y del agua. Aunque las reacciones exactas del proceso no son conocidas, la misma puede ser resumida en las siguientes ecuaciones (Warner, D.):



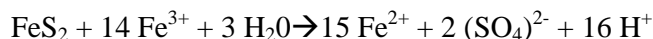
A continuación se produce la oxidación del sulfato ferroso a sulfato férrico:



A partir de aquí, y en función de las condiciones físicas y químicas, puede originarse hidróxido férrico o sulfato básico férrico:



La pirita puede también ser oxidada por hierro férrico, según la siguiente reacción:



De acuerdo con cualquiera de éstos mecanismos la oxidación de la pirita (sulfuro ferroso) da lugar a la formación de ácido sulfúrico el cual es transportado por los drenajes y actúa como contaminante ya sea por infiltración a otros acuíferos o por descarga a cauces superficiales.

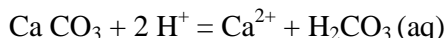
A valores de pH 4 a 7 la velocidad de oxidación de la pirita es baja y la concentración de Fe^{3+} está limitada por la baja solubilidad del hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$. En sistemas de acidez creciente, la solubilidad del Fe^{3+} aumenta, lo que produce un aumento en la oxidación de la pirita a partir de este catión. Estudios cinéticos indican además que la velocidad de oxidación de la pirita aumenta con la superficie específica.

Como ya se dijo, la acidez provoca el aumento de la solubilidad de muchos metales pesados encontrándose por lo tanto, en los DA, concentraciones significativas de aluminio, sodio, manganeso y calcio y de otros metales pesados como hierro, mercurio, plomo y cadmio.

En contraposición a lo expresado anteriormente, los drenajes neutros o alcalinos (DNAM) tienen una alcalinidad que es igual o mayor a la acidez, pero puede tener elevada concentración de $(\text{SO}_4)^{2-}$, Fe, Mn y otros solutos. Éstos drenajes pueden originarse a partir de los DA que han sido neutralizados por reacción con carbonatos minerales, tales como calcitas (Carbonato de calcio) o dolomita (carbonato de magnesio), o bien pueden formarse a partir de la roca madre que tiene pequeña cantidad de pirita.

La piedra caliza y otros materiales que producen alcalinidad pueden afectar la generación del drenaje ácido por dos caminos: si el agua en contacto con el material pirítico es suficientemente alcalina, ésta inhibe las reacciones de formación de ácido, de manera que se produce poco o ningún drenaje ácido. Por otro lado, si se ha formado ácido, la interacción del mismo con materiales alcalinos puede neutralizar la acidez y promover la remoción de hierro, aluminio y otros metales. El agua con alto contenido de sulfatos y bajo contenido de hierro puede ser indicativo de una generación de ácido previa.

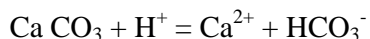
La calcita (Ca CO_3) y la dolomita (Mg CO_3) son los principales minerales que aportan alcalinidad. La siderita (Fe CO_3) puede ser también una fuente posible. Las reacciones implicadas con una solución ácida se ejemplifican a continuación con la calcita:



En ciertas condiciones el H_2CO_3 puede descomponerse y pasar a la fase gaseosa



Para una Neutralización adicional con carbonato a valores de pH mayor a 6,3 el producto es bicarbonato.



1.1.9 Ensayos para evaluar drenajes ácidos

En el apartado 1.1.8 se expresó que los problemas de contaminación originados a partir de las escombreras se derivan de los drenajes de las escorrentías, en especial los de carácter ácido,

debido a la presencia de sulfuros y su potencial para oxidarse. Si la capacidad de neutralización de la roca, en especial por efecto de los carbonatos, es insuficiente; el bajo pH resultante ocasionará la disolución de los metales que pudieran estar presentes.

Por tal motivo es importante realizar la investigación del potencial de drenaje ácido de (DA) para analizar las contaminaciones y posibles mitigaciones aún cuando los métodos de muestreo y estándares universales, que especifique el número de muestras requeridas para sustentar las conclusiones en la predicción de los drenajes ácidos, no están bien definidos. Dicho sustento se basa en numerosos estudios realizados en distintas partes del mundo que dan un porcentaje alto de certeza.

1.1, 9.1 pH de la Pasta

Se realiza midiendo el pH a una pasta preparada con la muestra sólida y agua. Es una determinación preliminar de la generación neta de ácido asociada a una muestra, no un indicador de la generación del mismo. Valores bajos de pH (menores que 6) indican que la muestra ya está oxidada, y por lo tanto tienen una disponibilidad limitada de potencial de neutralización, mientras que valores mayores sugieren que la muestra cuenta con un cierto potencial de neutralización.

1.1.9.2 Balance Ácido Base

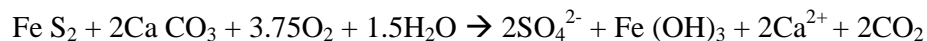
Estudio realizado que permite predecir el potencial que tiene una muestra de roca para generar drenaje ácido como así también el potencial para neutralizar dicho ácido. Proporciona una visión instantánea del estado de la misma, por lo tanto su uso para predecir el drenaje ácido es limitado. El método mas ampliamente usado es el de Sobek (Sobek et al, 1978) o EPA 600 recomendado por las autoridades reguladoras de los Estados Unidos.

Es una de las herramientas para predecir el impacto minero en sistemas hidrológicos aunque una correcta interpretación del mismo implica una evaluación de varios factores como por ejemplo: datos históricos, calidad de agua antes de la explotación, estratigrafía y litografía entre otros.

El balance ácido base no permite predecir de forma directa, la concentración de metales ni de otras sustancias disueltas en los drenajes mineros. El comportamiento de los mismos deberá ser evaluado a partir de consideraciones de pH, potencial de reducción-oxidación y solubilidad.

El objetivo es realizar análisis químicos para determinar el potencial de neutralización neto (PNN) del material, el cual se calcula a partir de la diferencia entre dos valores obtenidos analíticamente: El Potencial de producción de ácido (PPA) y el potencial de neutralización (PN).

La medida y cálculos de PPA, PN y PNN se basan en la siguiente estequiometría (Cravotta et al., 1990)



Tomando la relación de masas y si se expresa en partes por mil de material, por cada 10 partes por toneladas (1%) de azufre presente, se requiere 31,5 partes por toneladas de calcita.

Si bien fueron propuestas otras proporciones, esta es la que ha sido más ampliamente comprobada y es la sugerida por la mayoría de la bibliografía.

1.1.9.3 El potencial de producción de ácido (PPA)

Se basa en las mediciones del contenido de azufre total en la muestra bajo la suposición que todo reaccionará para producir ácido generado a partir de la oxidación de minerales sulfurosos principalmente pirita (sulfuro ferroso). El azufre puede presentarse en tres formas principales, como sulfuros, sulfato y en forma de azufre orgánico. El cálculo del PPA bajo la suposición de que todo es pirítico, da el máximo valor de generación ácida.

Los minerales sulfatados están presentes en cantidades significativas en suelos “usados” o en los rechazos. Estos no son formadores de ácido. No obstante sales de sulfatos metálicos, son productos intermedios de oxidación de pirita y representan una acidez potencial puesto que pueden reaccionar con agua produciendo ácido.

1.1.9.4 El Potencial de Neutralización (PN)

Es una medida del contenido alcalino de la muestra (principalmente contenido de carbonatos) disponible para neutralizar la acidez. Éste representa un valor teórico máximo.

Las fuentes de PN suelen ser principalmente la calcita (carbonato de calcio) y la dolomita (carbonato de calcio y magnesio) en menor proporción, aunque la siderita (carbonato ferroso) puede contribuir a la medida de PN en el laboratorio, a pesar de no proporcionar una neutralización neta.

Un chequeo cualitativo para predecir la presencia de minerales carbonatados capaz de neutralizar el material a analizar se basa en la producción de efervescencia de una muestra tratada con ácido clorhídrico a temperatura ambiente. Un contenido menor que 20 ppt (partes por toneladas) de calcita no produce generalmente efervescencia (Sobek et al. 1978). Si hay una concentración suficiente de calcita, esta produce una efervescencia importante, la dolomita (carbonato de magnesio) en menor proporción y la siderita (carbonato de hierro) no reacciona a temperatura ambiente. Por lo tanto se puede adoptar como primera aproximación que un NP mayor que 30 ppt con reacción de efervescencia es una estimación cualitativa de la capacidad de neutralizar la acidez.

1.1.9.5 Potencial Neto de Neutralización (PNN)

El cálculo del potencial neto de neutralización como diferencia de los valores descriptos anteriormente (PN-PPA), parte del supuesto que tanto la producción de ácido como la neutralización tiene lugar en forma simultánea, aunque en realidad la primera suele ser más rápida. Si el resultado es positivo, se producirá drenajes alcalinos; si es negativo, ácidos.

2. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

En función de la hipótesis planteada, del marco conceptual los datos disponibles, se seleccionaron las variables a determinar en las muestras de sólidos, tanto en los sedimentos, como en las escombreras y piletas de lodos.

Para la realización de todas las determinaciones analíticas se seleccionó laboratorios con certificación ISO 9000. Las técnicas empleadas para cada determinación fueron especificadas en los informes.

2.1.1 Variables fisicoquímicas y ensayos seleccionados para sólidos.

Tanto para las muestras de sedimentos como para las obtenidas en las escombreras, se estableció como variables más importantes a determinar la presencia de Arsénico y metales pesados seleccionados teniendo en cuenta los encontrados en los sólidos suspendidos de efluentes minero industriales del carbón (Caballero A. 2008). La tabla 1 muestra los metales y las normas empleadas para su determinación.

Para los estériles se realizó además tres ensayos adicionales para determinar la capacidad de generación de ácido y su potencial de neutralización. La tabla 2 muestra el detalle de los ensayos y las normas empleadas en su determinación.

Tabla 1: Metales determinados para sedimentos y estériles- Norma usada y límite de detección (Realizado en: Laboratorio de análisis de Agua y Suelo. UTN Reg. Mendoza).

Determinación	Unidades	NORMA	Límite de detección
Arsénico	mg/kg de muestra seca	SW-846-7061A	0,1
Cadmio	mg/kg de muestra	SW-846-7130	0,1
Cobre	mg/kg de muestra	SW-846-7210	0,1
Cromo	mg/kg de muestra	SW-846-7190	0,5
Hierro	mg/kg de muestra	SW-846-7380	1
Manganeso	mg/kg de muestra	SW-846-7460	1
Mercurio	mg/kg de muestra	SW-846-7471A	0,2
Plomo	mg/kg de muestra	SW-846-7420	0,5
Zinc	mg/kg de muestra	SW-846-7950	0,1

Observaciones:

SW-846: Tests methods for evaluating solids waste physical/chemicals methods vs. 2.EPA.

Para los Estériles se mantuvo la granulometría original de la muestra en el procedimiento mientras que para los sedimentos las muestras originales se tamizaron y se tomó para el análisis el cernido correspondiente al tamiz malla # 200 (serie Tyler) o sea aquellas partículas que tienen diámetros igual o menores a 70 micrones.

En ambos casos se realizó una lixiviación con ácido nítrico al 10% y sobre ésta se determinaron los metales (Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo UTN Reg. Mendoza)

Tabla 2. Análisis para determinar potencial de generación de ácido en estériles.
(Realizado en: Laboratorio de análisis químicos y microbiológicos- INDUSER SRL. Bs. As.)

Determinación	Unidad	Norma
pH de la Pulpa	U pH	ABA (Sobek, 1978)
Potencial de generación de ácido (AP)*	t CaCO ₃ / 1000 t	ABA (Sobek, 1978)
Potencial de Neutralización (NP)	t CaCO ₃ / 1000 t	ABA (Sobek, 1978)
Potencial Neto de Neutralización(NNP)**	t CaCO ₃ / 1000 t	ABA (Sobek, 1978)

El valor de AP se calculó de acuerdo a la fórmula: $AP = 31,25 \times \% \text{ Azufre total}$ donde % S total fue determinado por la ASTM D 3177-02.

El valor de NNP se calculó como $NNP = NP - AP$ (Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos- Grupo INDUSER SRL. Bs. As)

La incertidumbre de los métodos radica en el hecho de que el cálculo del potencial ácido en función del contenido total de azufre, no toma en consideración que una parte puede estar oxidada y aparecer como sulfato. Por otra parte el potencial de neutralización puede estar sobreestimado, si la disolución de los elementos alcalinos es lenta en relación con la generación de ácido sulfúrico.

2.1.2 Diseño del muestreo de sedimentos

Teniendo en cuenta lo expresado en el apartado 1.1.7.1 de éste trabajo se ha realizado un muestreo para realizar un monitoreo de base que permita definir, en trabajos posteriores, la cantidad de estaciones (o repeticiones) requeridas para un nivel de precisión o para perfeccionar la lista de parámetros basándose en la toxicidad de los contaminantes a evaluar.

En primer lugar se procedió a realizar un mapeo de campo a lo largo del curso receptor (arroyo San José) a fin de establecer los sumideros y depósitos de sedimentos, así como la granulometría de los mismos. A partir de ello se efectuó el muestreo en los de mayor deposición determinando las zonas y estaciones de muestreo.

El criterio adoptado en la zonificación, fue la de seleccionar tres sectores del curso. De esta forma quedaron determinadas tres zonas de muestreo de sedimentos: la de referencia correspondiente al área del desborde del dique San José; la del curso del arroyo San José

después de las descargas de la Planta Depuradora de carbón y por último la correspondiente a la zona después de la descarga de la central térmica.

En cada zona se estableció dos o más estaciones de muestreo ubicadas a determinada distancia del punto de vuelco, recolectando una muestra por cada estación. Cada muestra se formó a partir de alícuotas extraídas en la transecta del curso superficial, una en cada margen opuesto y otra en la parte central, tratando de extraer los primeros 5 centímetros de profundidad del sedimento.

La tabla 3 muestra lo expresado previamente. En dicha tabla se observa que no hay una correspondencia en las distancias definidas para las estaciones ubicadas después del vertido de la Planta Depuradora y las correspondientes a la zona después de la descarga de la Usina. Ello se debe a que en el primer caso las mismas se encuentran completamente en el curso agua receptor mientras que en el segundo caso, la descarga se encuentra a escasos 10 metros de la confluencia del arroyo San José con el río Turbio por lo que las dos últimas estaciones están localizadas en el curso del río Turbio y en consecuencia se tomó una zona mas próxima con el propósito de analizar el alcance y correspondencia de las deposiciones previas.

Tabla 3. Zonas y Estaciones de muestreo de sedimentos

Zona de Muestreo	Estaciones de Muestreo	Código de muestra
Desborde de dique	7 m	MSdique 1
	10 m	MSdique 2
Después descarga Planta	5m	MSDP 1
	100m	MSDP 2
	200m	MSDP 3
Después descarga Usina	5 m	MSDU 1
	20m	MSDU 2
	50m	MSDU 3

2.1.3 Diseño del Muestreo de Estériles

Al igual que en el caso del muestreo de sedimentos, se realizó un muestreo de las escombreras con el propósito de obtener una información cualitativa puntual que permita realizar un diseño posterior acorde con el nivel de precisión deseado o con los recursos financieros para hacerlo.

El mismo se llevó a cabo teniendo en cuenta los tipos de material de acuerdo a su granulometría y la antigüedad de la deposición. En función de ello se definieron tres estaciones de muestreo ubicadas sobre las escombreras: a) estéril grueso nuevo (tamaño mayor de 0,5 mm) depositado en la escombrera nueva, b) estéril antiguo depositado en las antiguas escombreras que bordean el arroyo y c) estéril fino (tamaño menor de 0,5 mm) que forma parte de los sedimentos de las piletas de lodos.

Se extrajo una muestra por cada estación cada una de las cuales se formó a partir de alícuotas obtenidas en distintas partes de las mismas a fin de obtener la mayor representatividad.

2.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas 4 y 5, muestran los resultados obtenidos en el laboratorio para las muestras extraídas de acuerdo a lo descrito en los apartados 2.1.2 y 2.1.3. Dichas determinaciones se redujeron al contenido de arsénico y metales pesados teniendo en cuenta los determinados para las aguas del arroyo San José (Caballero A., 2008).

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos en las determinaciones que definen el potencial de generación de ácido de los estériles.

Tabla 4. Valores obtenidos para Arsénico y metales sobre estériles de Planta Depuradora (Realizado en: Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo UTN Reg. Mendoza)

DETERMINACIÓN		Pileta de lodos	Estéril nuevo	Escombrera
Arsénico	mg/kg de muestra seca	2,92	14,93	2,74
Cadmio	mg/kg de muestra seca	0,58	0,5	0,59
Cobre	mg/kg de muestra seca	39,81	36,59	34,19
Cromo	mg/kg de muestra seca	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hierro	mg/kg de muestra seca	12032	9935	12740
Manganeso	mg/kg de muestra seca	178,48	145,03	330,74
Mercurio	mg/kg de muestra seca	0,56	0,49	0,93
Plomo	mg/kg de muestra seca	10,14	7,86	8,05
Zinc	mg/kg de muestra seca	40,22	36,56	49,05

Tabla 5: Valores obtenidos para Arsénico y metales sobre Sedimentos del arroyo San José (Realizado en: Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo UTN Reg. Mendoza)

DETERMINACIÓN		MSDIQUE 1	MSDIQUE 2	MSDP 1	MSDP 2
Arsénico	mg/kg de muestra seca	0,91	1,38	< 0,5	1,27
Cadmio	mg/kg de muestra seca	< 0,50	0,59	< 0,50	0,54
Cobre	mg/kg de muestra seca	29	67	24	51
Cromo	mg/kg de muestra seca	7,68	7,93	< 4,0	< 4,0
Hierro	mg/kg de muestra seca	20453	21882	2814	19460
Manganeso	mg/kg de muestra seca	2065	7006	282	236
Mercurio	mg/kg de muestra seca	1,92	2,81	1,74	1,92
Plomo	mg/kg de muestra seca	11,9	15,1	0,8	8,9
Zinc	mg/kg de muestra seca	65	82	63	64

Tabla 5 (Continuación): Determinación de metales sobre sedimentos del A° San José

DETERMINACIÓN		MSDP 3	MSDU 1	MSDU 2	MSDU 3
Arsénico	mg/Kg de muestra seca	1,87	1,53	1,08	1,08
Cadmio	mg/Kg de muestra seca	0,64	0,5	< 0,50	< 0,50
Cobre	mg/Kg de muestra seca	42	39	36	34
Cromo	mg/Kg de muestra seca	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hierro	mg/Kg de muestra seca	33258	19344	15780	16183
Manganeso	mg/Kg de muestra seca	296	415	472	371
Mercurio	mg/Kg de muestra seca	3,23	1,72	1,11	1,1
Plomo	mg/Kg de muestra seca	12,8	12,6	10,9	10,9
Zinc	mg/Kg de muestra seca	83	59	59	56

Tabla 6: Valores de ensayos para Potencial de generación ácida
(Realizado en: Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos- INDUSER SRL. Bs. As)

Determinación	Unidad	Pileta de Lodos	Estéril Nuevo	Escombrera Antigua
pH de la Pulpa	U pH	7	8,2	3,3
Potencial de generación de ácido (AP)*	t CaCO ₃ / 1000 t	178	64,7	975
Potencial de Neutralización (NP)	t CaCO ₃ / 1000 t	10,2	7,1	-16
Potencial Neto de Neutralización(NNP)**	t CaCO ₃ / 1000 t	-167	-57,6	-991

El cálculo del potencial ácido en función del contenido de azufre no toma en consideración que una parte de ese elemento ya puede estar oxidada y aparecer como sulfatos. También el potencial de neutralización puede estar sobreestimado, si la disolución de los elementos alcalinos es lenta en relación con la generación de ácido sulfúrico. Todo esto constituye la incertidumbre del método.

2.2.1 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS

El propósito, es el de correlacionar la presencia de metales pesados en el curso con los depositados en el lecho del arroyo. El análisis subsiguiente se ha realizado a partir de un solo muestreo y por lo tanto las conclusiones que se desprenden tienen validez cualitativa y no cuantitativa.

Las figuras 5 a 10, muestran las comparaciones de valores determinados para la Zona del Dique (MSDIQUE 1 Y MSDIQUE 2), con las tomadas en las tres estaciones ubicadas después de Planta Depuradora (MSDP1, MSDP2, MSDP3) y de Usina (MSDU1, MSDU2, MSDU3). Por una cuestión práctica se han agrupado en el mismo gráfico aquellos valores que comprendían un rango de concentraciones semejante. El resto se trató individualmente para poder apreciar mejor sus variaciones.

Del análisis de las figuras se desprende que hay un contenido en metales pesados de fondo en los sedimentos del arroyo, ya que se verifica su presencia en la zona de deposición cercana a la de referencia. En ésta, la concentración de todos los metales aumenta en la segunda muestra

respecto de la primera y como detalle destacado se observa que los valores más altos en cromo y manganeso se dieron para esta zona.

Los estudios realizados en el agua del arroyo San José de ésta zona (Caballero A. 2008) indican contenidos metálicos que no sobrepasan los niveles guía argentinos de calidad de agua ambiental, los niveles guía de protección ambiental (ley 24585) y límites admisibles de vertido de la provincia de Santa Cruz. Teniendo en cuenta que la concentración de sólidos suspendidos en el agua también fue la más baja, es evidente que esa parte del arroyo constituye una importante zona de deposición de contenido metálico de base. El origen podría deberse a arrastres o deposiciones históricas, a la presencia de estéril usado en la consolidación de caminos de acceso a la zona o en la construcción del terraplén del dique o bien a acumulaciones aledañas detectadas en el mapeo de campo.

En consecuencia, esta primera aproximación plantea la necesidad de efectuar un muestreo en los sitios mencionados y en la roca de base, a fin verificar o rechazar las hipótesis planteadas.

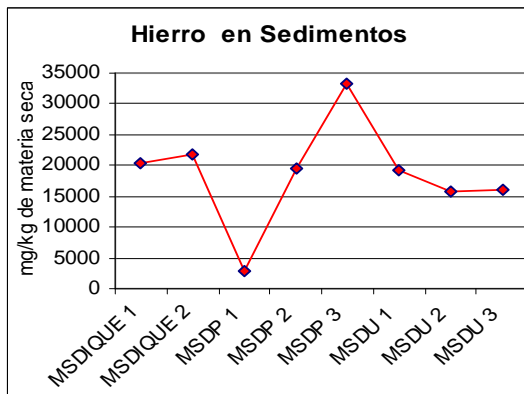


Fig. 5: Gráfico comparativo de hierro en sedimento

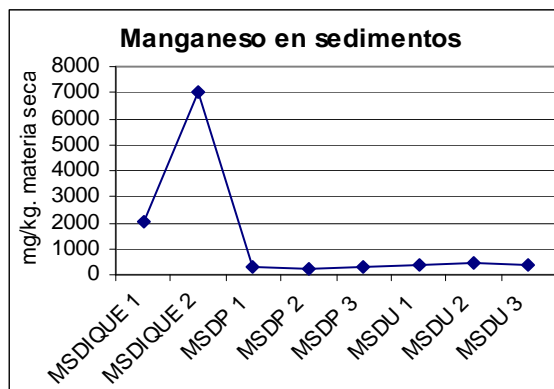


Fig.6: Gráfico comparativo de manganeso en sedimento

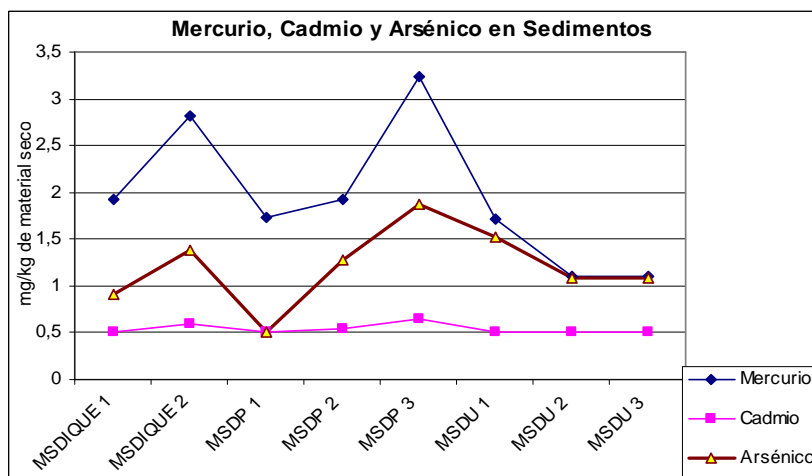


Figura 7: Gráfico comparativo de mercurio, cadmio y arsénico en sedimento

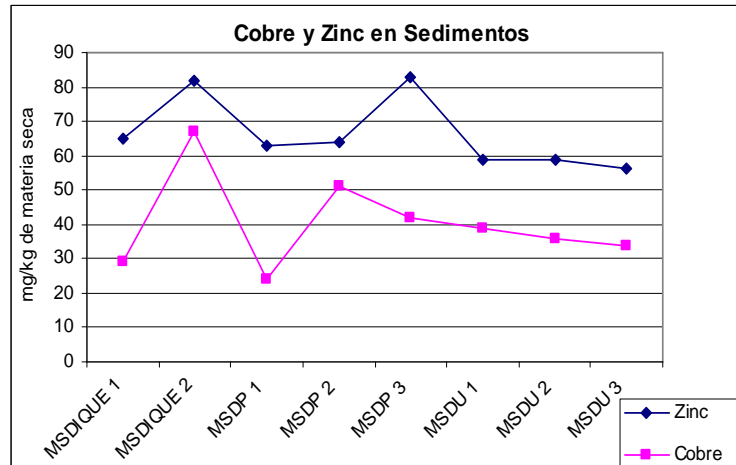


Figura 8: Gráfico comparativo de cobre y cinc en sedimento

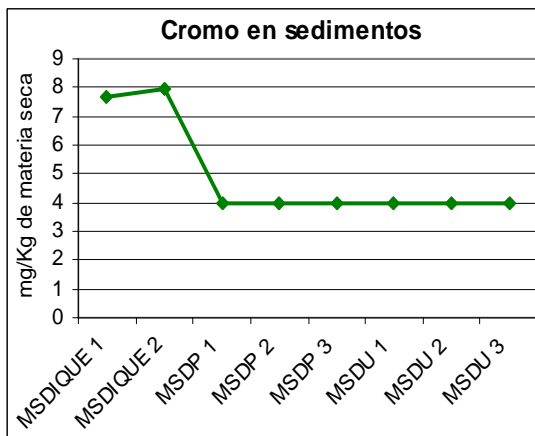


Figura 9: Gráfico comparativo de cromo en sedimento

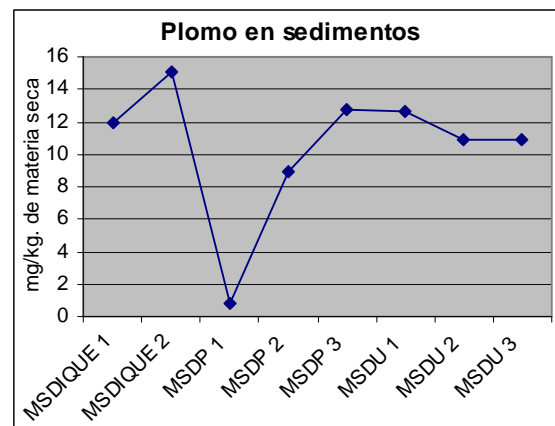


Figura 10: Gráfico comparativo de plomo en sedimento

Por lo que respecta a los valores encontrados en las proximidades de la planta, existe una correspondencia en el contenido metálico de los efluentes provenientes de la misma y los sedimentos determinados en el citado estudio. Obsérvese por ejemplo, que la mayor concentración de mercurio frente al de cadmio y arsénico se corresponde con las determinaciones realizadas para estos metales en el curso del arroyo. Lo mismo sucede con el resto de los metales.

De lo expuesto se puede afirmar que el pasivo ambiental constituido por los sedimentos del arroyo en éste tramo, tiene su origen en la planta depuradora de carbón dado que existe una relación lineal entre contenidos metálicos y sólidos suspendidos en el agua.

Idénticas afirmaciones se puede realizar para el contenido metálico encontrado en los sedimentos del arroyo después de la descarga de la usina, aunque en este caso las concentraciones son menores y la procedencia además de la depuración del carbón se corresponde con los residuos de la combustión.

2.2.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ESCOMBRERAS

La finalidad de este análisis es también cualitativa y se relaciona con el hecho de poder inferir la calidad de las escombrerías provenientes de los depósitos de estériles.

Tal como se mencionó en el apartado 2.1.1, se atendieron dos aspectos: el contenido metálico y el potencial de drenaje ácido.

2.2.2.1 Contenido de Metales Pesados en Escombreras

En las figuras 11 a 15 se muestra la comparación en contenido metálico entre estériles gruesos antiguos (escombrera), recientes y finos (pileta de lodo). Se observa en general una mayor concentración de metales en la escombrera antigua, excepto para los contenidos de plomo y arsénico. Esto podría explicarse por la disgregación, disolución y arrastre de componentes de la roca más soluble que los metálicos, lo que se traduce en un aumento en la concentración de aquellos.

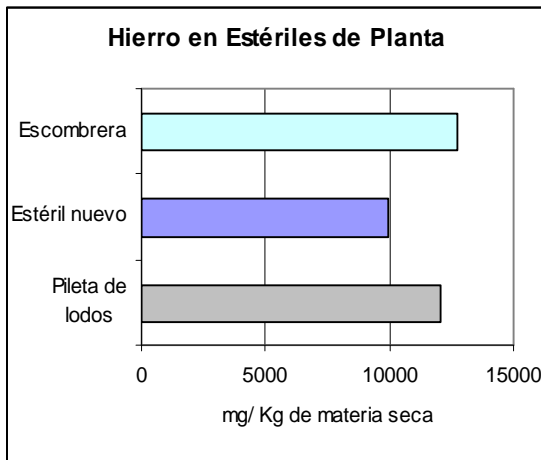


Fig. 11: Gráfico comparativo de manganeso en estériles

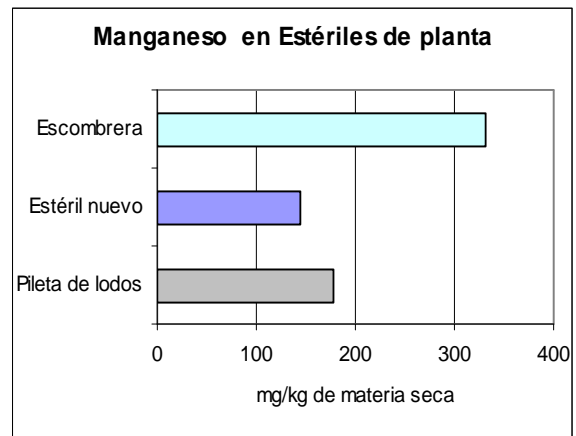


Figura 12: Gráfico comparativo de hierro en estériles

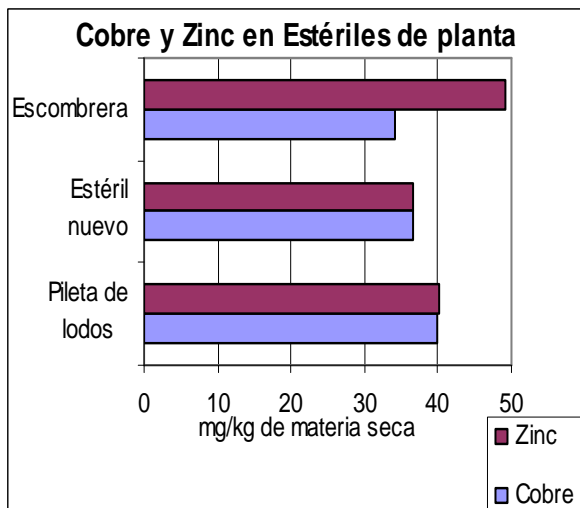


Fig. 13: Gráfico Comparativo de cobre y cinc en estériles

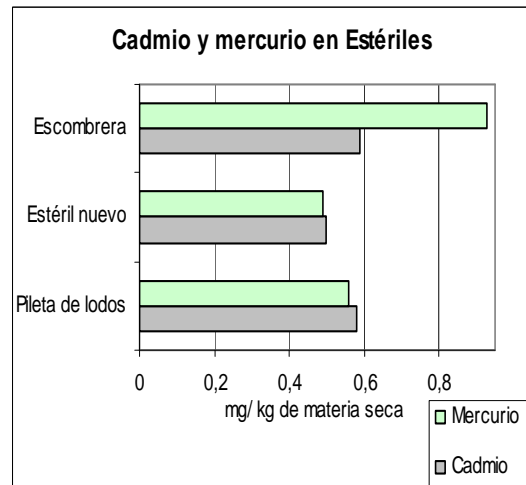


Fig. 14: Gráfico comparativo de cadmio y mercurio

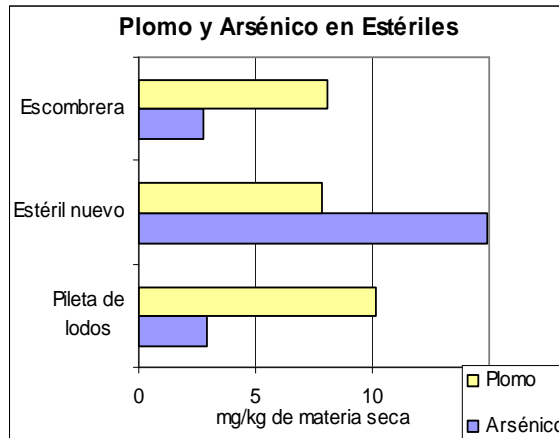


Fig. 15: Gráfico Comparativo de plomo y arsénico en estériles

2.2.2.2 Potencial de formación de drenajes ácidos de estériles

La determinación del potencial para formar drenajes ácidos es una forma aproximada pero simple y efectiva de predecir en que medida un residuo puede alterar la composición del agua de escorrentía y contaminar cursos de agua superficial o de subálveos por solubilidad de los metales (Skousen and Foreman, 2000). Por otra parte permite definir acciones de mitigación y remediación.

La contaminación depende del contenido de sulfuros, el potencial para oxidarse y la capacidad que tiene el material para neutralizar el ácido formado por medio de la presencia de carbonatos.

pH de la pulpa

Los valores obtenidos de pH de la pulpa (pasta formada con el sólido y agua), sugieren que tanto los estériles nuevos como los de la pileta de lodos cuentan con un cierto potencial de neutralización ($\text{pH} > 6$) o bien que el ácido presente es inmediatamente neutralizado por el mineral alcalino. El bajo valor de pH para la escombrera antigua (3,3 u. pH) estaría indicando que la muestra ya está oxidada y por lo tanto posee una disponibilidad baja o nula de neutralización para evitar la formación de drenaje ácido (Ver Figura 16). Otra interpretación en este último caso es la de producción local de ácido.

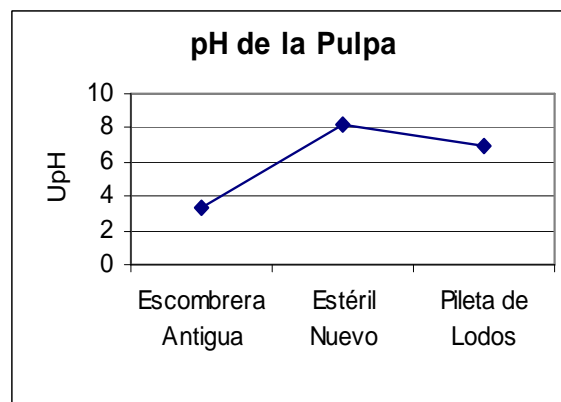


Figura 16: Comparación de pH de pulpa de estériles

Potencial de generación de Ácido (PA)

Se debe recordar que este valor se calcula a partir de considerar que todo el azufre presente en la muestra está como pirita y que por lo tanto es generador de ácido. Los elevados valores observados en la escombrera antigua (Figura 17) podrían estar indicando una sobreestimación de este potencial, ya que se sabe que en un material de rechazo, están presente minerales sulfatados no generadores de ácidos y por lo expresado en el análisis del pH ya hay material oxidado en las escombreras que se estaría evaluando como pirítico. No obstante, no se puede precisar cuanto es el error del método de determinación por lo que se debería realizar estudios adicionales que diferencien las distintas formas de azufre presente.

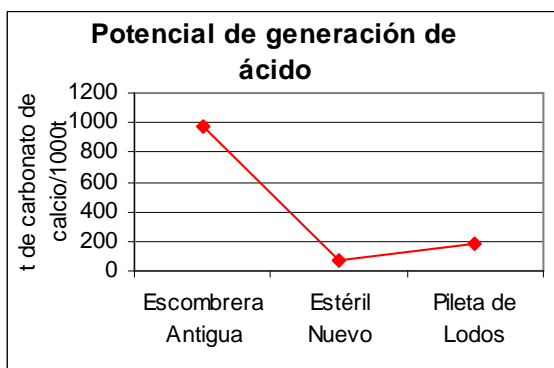


Figura 17: Gráfico comparativo de potencial de generación de ácido de estériles

Respecto al mayor valor de las piletas de lodo frente al estéril grueso se debe a la presencia del alto contenido de partículas finas con mayor superficie específica que favorece la velocidad de oxidación de la pirita. Por otro lado el elevado pH en las escombreras no favorece esta oxidación.

Potencial de Neutralización (PN)

Los datos demuestran que tanto el estéril nuevo como el de piletas de lodos. Contienen mineral alcalino neutralizante (Figura 17).

El valor negativo obtenido para las escombreras indica nuevamente la existencia de residuos oxidados o la existencia de una contaminación por el drenaje ácido.

Potencial Neto de Neutralización

Por definición el potencial Neto de Neutralización es la diferencia entre la cantidad de material disponible para su neutralización y el potencial de generación de ácido. En la Figura 18, se han graficado los valores obtenidos.

Teniendo en cuenta que el Potencial neto de neutralización es una indicación de la capacidad del material para resistir a la formación de ácidos, de los valores negativos obtenidos en el análisis se podría inferir la tendencia a formar lixiviados ácidos, sobretodo en el caso de las escombreras antiguas.

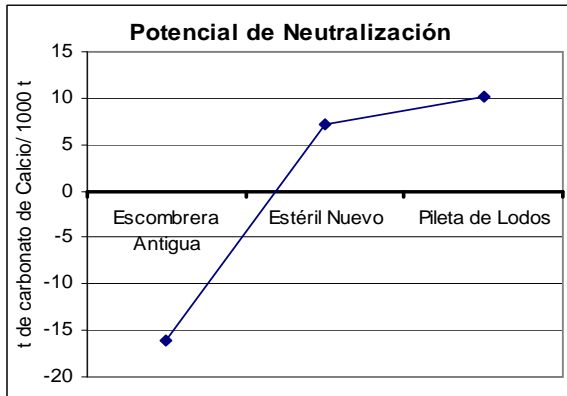


Fig. 18: Gráfico Comparativo de potencial de neutralización

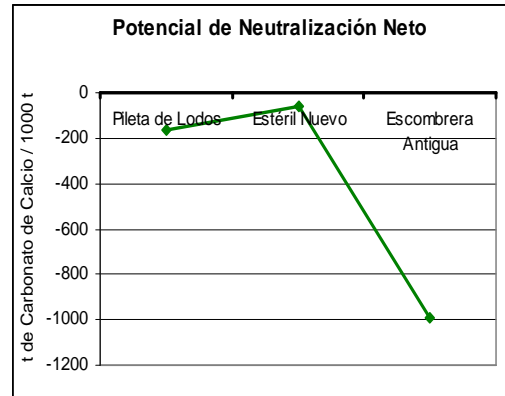


Fig. 19: Gráfico de Potencial Neto de Neutralización

Nuevamente esta aproximación indica la necesidad de profundizar el estudio mediante un muestreo intensivo de estériles que corrobore los resultados preliminares, o bien la necesidad de hacer un estudio de lixiviación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De lo expuesto se puede afirmar que todos los estériles poseen un contenido metálico que los encuadra en la ley residuos peligrosos de acuerdo a la Ley Nacional 24051. Los mismos están contemplados en el ítem Y18 "Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales"; como así también aquellos desechos que tienen como constituyente: "Cobre (Y22), Cinc (Y23) y Mercurio (Y29). En el Anexo II de la citada ley (Listas de Características Peligrosas), la presencia de Cobre y Cinc comprendería la característica identificada como "Ecotóxica clase 9 (UN) N° de código H12 y para el Mercurio como "Sustancias tóxicas" en la clase 9 (UN) código H11

Los muestreos puntuales de estériles de distinta procedencia (antiguos y recientes, gruesos y finos), han mostrado en este análisis preliminar un elevado potencial generador de ácido. Debido a que con este estudio puntual no se puede asegurar que el agua de las escorrentías sea ácida son necesarios estudios adicionales intensivos para determinar las zonas con potencial para generar ácido y así poder iniciar acciones de neutralización con cal, tal es la práctica corriente.

Existe bibliografía en la cual se afirma que con la tecnología actual, es posible restaurar las tierras afectadas por la minería y mejorar el entorno paisajístico impactado. Para ello se da forma al contorno de las pilas de material estéril, se cubren con suelo orgánico, se siembran pastos y se plantan árboles en las zonas afectadas. Todas estas acciones de remediación podrán plantearse en la medida que se confirmen o se amplíe la información obtenida a partir de este estudio preliminar.

Por otra parte la presencia de metales en las zonas de deposición del arroyo después de las descargas, confirma que los mismos provienen de la sedimentación de sólidos contenidos en los efluentes de la planta depuradora de carbón y de la usina. Las concentraciones apreciables

encontradas en la zona de referencia, indican la necesidad de determinar si su procedencia corresponde a la composición mineralógica de la zona, a los estériles depositados en las proximidades, a materiales de construcción del dique o a los vertidos de otro origen realizado en el mismo.

Por lo que respecta a acciones de remediación a implementar sobre los sedimentos del arroyo, éstas deberán ir acompañadas del tratamiento y gestión de los efluentes que aún siguen impactando.

En este punto será muy importante tener en consideración las experiencias y estudios realizados a nivel mundial, como por ejemplo los de la Red Europea de contaminación de sedimentos (SedNet), que fue creada en el 2002 por la Unión Europea para desarrollar entre diferentes países prácticas viables de gestión de sedimentos en cuencas de ríos, deltas y puertos. Esto permitirá definir la necesidad de un dragado o bien analizar la velocidad de autodepuración del curso del arroyo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto PI 29/C033 denominado “Evaluación del Impacto Físico de Pasivos Ambientales de la Actividad Minero Industrial en Río Turbio. Güer Aike. Santa Cruz”, el que se desarrolla en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Turbio por tal motivo la autora agradece a la colaboración y el apoyo brindado por dicha institución.

Por otra parte es necesario agradecer al personal de la Empresa Yacimientos Carboníferos Río Turbio por su predisposición y apoyo en la realización de los muestreos e información suministrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPERS, BLOWES, NORDSTROM and JAMBOR. (1994). “Secondary mineral and acid mine water chemistry. Environmental geochemistry of sulfide mine-waste”. Ed. by D.W. Blowes and Jambor, short course Handbook v.22. Mineralogical Association of Canada pp. 247–270. American Public health Association.

BALLESTEROS, J. 1995. “Ecologismo Personalista. Cuidar la Naturaleza”. Ed. Tecnos.

CABALLERO A, 2004. “Degradación y rehabilitación de suelos en actividades mineras-Explotación del carbón en Río Turbio”. Monografía presentada a la cátedra de Contaminación de Suelos de la carrera Especialista en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.

CABALLERO A, 2008 .“Caracterización, valoración y alternativas de mitigación del impacto de efluentes de la actividad carbonífera sobre el arroyo San José de la provincia de Santa Cruz ” Tesis de maestría. UNCu).

CALVO, R., PÉREZ, A. (1994). “Soil affected by acid mine waters in Galicia” (NW Spain). Water Air Soil Polut. 73, 247-263.

CRAVOTA C III., ROSE A.,1990. “Geochemistry of Coal Mine Drainage” (Chapter 1). Water resources Div. US Geological Survey, Lenoyne, PA17043.

GLOVER H.G.,(1982).“Mine water pollution: An overview of problems and control strategies in the United Kingdom”. In: Mine Water Pollution, P.E. Odendaal, ed., Pergamon Press, New York, 59-70.

HOROWITZ J., (1985). “A Primer on Trace Metal - Sediment Chemistry”. U.S Geological Survey water- supply paper 2277. (67 p).

KINNEY E.C.,(1964). “Extent of Acid Mine Pollution in the United States Affecting Fish and Wildlife”. USS. Dep. Interior, Fish and Wildlife Circular 191, Washington, D.C.

LEY N° 24585 (1995).”De la protección ambiental para la actividad minera”.Código de Minería de la República Argentina. www.minería.gob.ar/legal/codigo_resumido.asp

MALCOM MC KEE. (1998).“Manual for Baseline Aquatic Effects Monitoring for Mining”. Publicado por CANNMENT /INTEMIN (Argentina).

MONTERROSO C. Y MACÍAS. F. (diciembre de 1998). “Aguas de drenaje de mina afectadas por la oxidación de sulfuros. Variaciones estacionales de su composición”. Edafología. Volumen 5. Pág. 71-82. Universidad de Santiago, Dpto. Edafología y Química Agrícola, Santiago de Compostela. Tomado de <http://edafología.ugr.es/revista/tomo5>

NORDSTROM AND ALPER. (1996).”Geochemistry of Acid mine” Water. In Plunlee G. Sand, M J Logsdon eds., The Environmental Geochemistry of Mineral Deposit-Part A. Processes, methods and health issues: Reviws in Economic Geology V.6.

PORTA Y OTROS: “Edafología Para La Agricultura Y El Medio Ambiente”. 2da Edición

SALSO J. H. 1982, “Hidrología de la zona de Río Turbio-. Informe Preliminar Convenio INCYTH-Pcia Sta Cruz. Yacimientos Carboníferos Río Turbio. Río Turbio- Santa Cruz.

SKOUSEN AND FOREMAN. (2000). “Water management Techniques for Acid Mine Drainage Control”. Tema de "Green Lands" magazine. Tomado de www.wvu.edu/~Agexten/landrec/water.htm.

SOBEK, A., SCHULLER, FREEMAN, W.J. AND SMITH, R. (1978). “Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Mine soil”. West Virginia Univ., Morgantown College of Agriculture and Forestry. EPA report no. EPA -600/2-78-054 p. 47-50.