

VALORACIÓN DEL IMPACTO DE EFLUENTES MINERO INDUSTRIALES DEL CARBÓN EN EL ARROYO SAN JOSÉ DE RÍO TURBIO EN SANTA CRUZ

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

Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Unidad Académica Río Turbio

Río Turbio, febrero de 2008

RESUMEN

Los efluentes descargados al arroyo San José de Río Turbio al sudoeste de la provincia de Santa Cruz (República Argentina) quedaron caracterizados mediante un análisis estadístico multivariado realizado con parámetros fisicoquímicos determinados sobre ellos (Caballero A). Dicho análisis permitió su diferenciación cualitativa y la identificación de los aportes que ocasiona cada uno de ellos.

En éste trabajo se ha procedido en primer lugar a determinar la calidad de los vertidos y del agua del arroyo a partir de una escala de valoración. Dicha escala se confeccionó usando las conclusiones del análisis estadístico mencionado y la comparación de los valores obtenidos con los límites máximos de vuelco establecidos para la provincia de Santa Cruz (ley N° 2658), los Niveles guía argentinos de calidad de agua ambiente y los Niveles guía de la ley de protección Ambiental N° 24585 (Código de minería argentino).

Finalmente para valorar el impacto ocasionado por los efluentes minero industriales, se tomó en consideración además de la calidad, otros factores relevantes tales como caudal, tipo de vertido, intermitencia y peligrosidad; adoptando un modelo matemático particular que permitió asignar un puntaje asociado a una escala cualitativa.

Como conclusión se pudo determinar mediante una metodología científica que el impacto ocasionado por las descargas minero industrial de carbón al curso de agua varía en un rango de alto a muy alto y esta determinada principalmente por aquellas provenientes de la planta depuradora de carbón y la central térmica.

Palabras Claves: arroyo, contaminación, valoración, impacto, carbón

INTRODUCCIÓN

La caracterización y clasificación de efluentes minero industriales del carbón descargados al arroyo San José mediante un análisis estadístico multivariado (Caballero A. 2008), permitió diferenciarlos y establecer cualitativamente los principales aportes al curso de agua receptor. De ésta forma los efluentes quedaron agrupados fundamentalmente por aquellos que aportan sólidos y metales en suspensión, como los de la Planta depuradora de carbón y la Central térmica, de los que no lo hacen, tales como los de las Minas en explotación y abandonadas caracterizados además por una elevada alcalinidad y contenidos de calcio y dureza.

De lo expuesto se desprende que no se ha tratado específicamente la calidad de los efluentes descargados y la magnitud del impacto en relación a un marco legal. Por tal motivo el objetivo de éste trabajo es determinar, en base a la tipificación resultante del análisis estadístico mencionado, la calidad de los efluentes descargados en función de normativas vigentes y valorar, mediante una metodología adecuada, la magnitud del impacto a partir de la hipótesis de que las descargas de efluentes minero industriales del carbón sobre el arroyo San José ocasionan un impacto elevado en función de los sólidos y metales en suspensión que aportan.

La determinación de la calidad de cada efluente, a partir de cuánto está alejado de los estándares permitidos, así como la valoración del impacto que cada uno ocasiona en el curso del arroyo San José, permitirá establecer el estado de situación actual a partir del cual se pueden seleccionar tecnologías de tratamiento y planificar acciones para mejorar la gestión de efluentes y/o mitigar el impacto en el arroyo.

En primer lugar se ha analizado el marco legal existente en la República Argentina y en la provincia de Santa Cruz relativo a las descargas de efluentes líquidos sobre cursos de agua superficial y el marco conceptual relativo a la determinación de índices de calidad de agua presente en la bibliografía (apartado 1). Tomando como referencia los marcos legales mencionados, se ha realizado la comparación de aquellos parámetros que permitieron caracterizar con significancia estadística los distintos grupos de efluentes, fundamentalmente los relacionados a la actividad minero industrial.

A partir del análisis comparativo anterior junto con el estadístico, se confeccionó una escala de valoración adaptada a esta situación particular que permitió clasificar cada efluente según su calidad. Finalmente, mediante la consideración de otros factores relevantes tales como caudal, tipo de vertido, intermitencia y peligrosidad, se realizó un modelado matemático el que mediante una fórmula empírica permitió asignarle un valor de impacto a cada efluente y al curso del arroyo asociado a una escala cualitativa.

Tomando como indicador característico de la actividad minero industrial del carbón el contenido de sólidos y de metales totales recuperables se pudo determinar mediante una metodología científica que el impacto ocasionado por los mismos en el arroyo San José varía en un rango de alto a muy alto.

1. MARCOS DE REFERENCIA

1.1 MARCO CONCEPTUAL

1.1.1 Indicadores de calidad de agua

Una de las formas de determinar la calidad del agua, es a partir de la obtención de índices en los cuales se correlacionan valores de variables definidas previamente. Para ello se adopta una combinación de los mismos que no superen límites estándares o deseables, los que serán tomados como referencia. En la selección de parámetros se pueden considerar aquellos relacionados con los usos (Conesa Fernández- Vitora. 1997).

Usos domésticos: turbidez, dureza, sólidos disueltos, tóxicos y coliformes.

Industria: Sólidos disueltos y en suspensión.

Riego: Sólidos disueltos, conductividad, contenido en sodio, calcio y magnesio.

Recreación: Turbidez, tóxicos y coliformes.

Vida acuática: oxígeno disuelto, compuestos órgano clorados.

Un ejemplo de éstos índices es el basado en el de Martínez Bascarón (1979), que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$ICA = K \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i} \quad (3)$$

Donde C_i = Valor porcentual asignado a los parámetros

P_i = peso asignado a cada parámetro

K = Constante que toma los siguientes valores:

1,0 para aguas claras sin aparente contaminación

0,75 para aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparente no natural.

0,25 para aguas negras que presenten fermentación y olores.

No obstante, Conesa Fernández - Vitora aclara que: “los valores estipulados en la tabla I son genéricos y susceptibles de conducir a error, cuando se trata de determinar la calidad de agua para un uso específico por lo que se recomienda en ese caso confeccionar una tabla de valores porcentuales a partir de límites de concentración estipulados en tratados expertos”.

1.2 MARCO LEGAL

1.2.1 Generalidades

Diversos países del mundo han desarrollado una serie de criterios ambientales que tienen

como finalidad proteger distintos factores entre ellos el agua. Estos criterios establecen las concentraciones de sustancias definidas en un medio determinado (por ejemplo agua superficial) por encima del cual se puede ocasionar daño al recurso. La terminología de uso frecuente, se explica a continuación

Valores ambientales Guía: Son valores de parámetros de calidad determinados con un sustento científico. Representan recomendaciones respecto a concentraciones que pueden ocasionar un daño al recurso y por lo general carecen de categoría legal.

Objetivos ambientales: Son determinaciones numéricas o narrativas inherente a un parámetro de calidad, establecidas en el marco de una política de manejo de agua para apoyar y proteger el uso específico de la misma. Se basan generalmente en los valores ambientales guía.

Parámetros o Estándares ambientales: Son objetivos ambientales de cumplimiento obligatorios según la legislación, con relación a un destino específico del agua ambiente.

Criterios ambientales: Término que incluye los valores ambientales guía, los objetivos ambientales y los parámetros ambientales.

1.2.2 República Argentina

En Argentina se han elaborado Niveles Guía de Calidad de Agua Ambiente, los que si bien no tienen categoría legal, permiten disponer de un marco de referencia válido en la asignación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos a diversos destinos. Estos además, posibilitan definir estrategias apropiadas para la protección y recuperación de la calidad de dichos recursos. Los niveles guía establecen pautas asociadas a la protección de los componentes bióticos involucrados en los diferentes usos asignados al agua ambiente, tales como: fuentes de provisión de agua para consumo humano, protección de la biota acuática, irrigación de cultivos, bebida de especies de producción animal y recreación humana. Por lo dicho, “son un instrumento de gestión de los recursos hídricos de naturaleza biológica, sanitaria, ecológica, científica, tecnológica, universal y utilitaria” (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Diciembre de 2005).

La magnitud de los mismos no constituyen cupos admisibles de alteración de la calidad natural de los cuerpos de agua, ya que cualquiera sea su destino se adopta como premisa la protección de las condiciones cualitativas naturales. Entre las aplicaciones de los mismos se puede mencionar:

- Instrumento de los presupuestos mínimos de protección ambiental.
- Herramienta para la especificación de objetivos y estándares de calidad de los recursos hídricos y para la clasificación de los cuerpos de agua.
- Herramienta para la evaluación de Impacto Ambiental de obras y acciones de aprovechamiento hídrico y para el control de la contaminación.

Por otra parte en el Anexo IV de la ley N° 24585 de “Protección Ambiental para la Actividad

Minera” incorporada al Código de Minería como artículo 282, figuran distintos “Niveles Guía de Calidad de Agua” establecidos para la protección de la vida acuática en agua superficial (dulce, salada y salobre) y para diferentes usos: bebida humana, irrigación y bebida de ganado. En el caso de los contenidos metálicos, si bien figuran valores totales, no se especifica si los mismos son valores determinados sobre una muestra filtrada (contenidos disueltos) o sobre una muestra sin filtrar (totales recuperables)

1.2.3 Provincia de Santa Cruz

La ley N° 2658 de Evaluación de Impacto Ambiental de la provincia de Santa Cruz incluye en el Anexo I de su reglamento un listado de “Parámetros de calidad de las descargas en agua y suelo” donde se estipulan límites admisibles de vertido.

Al igual que en la ley de Protección ambiental mencionada en el apartado anterior no se especifica si los valores límites para metales son para determinaciones sobre muestras sin filtrar o filtradas. Ésta aclaración solo figura para el hierro y manganeso donde se explicita que los valores son para contenidos disueltos.

2. RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1 Evaluación de los parámetros determinados de acuerdo a normativa

Tomando como referencia los valores límites de vuelco establecido por la provincia de Santa Cruz, los Niveles guía argentinos de calidad de agua ambiente y los Niveles guía de la ley de protección Ambiental N° 24585 (Código de minería argentino); se ha realizado un análisis comparativo de los parámetros que permitieron caracterizar con significancia estadística los distintos grupos de efluentes, fundamentalmente aquellos relacionados a la actividad minero industrial.

De esta forma, entre los valores fisicoquímicos corrientes se escogió como representativos para la comparación: el pH, la alcalinidad, los sólidos suspendidos, dureza total, sulfatos, conductividad y arsénico. En el caso de los valores de metales pesados el análisis se realizó usando el contenido metálico total recuperable (muestra sin filtrar) tal como se recomienda para estudios ambientales.

No obstante lo dicho en el párrafo anterior, se analizó separadamente los contenidos de metales disueltos para todos los efluentes y en general, salvo en el caso del contenido de manganeso y hierro en dos muestras, se pudo determinar todos en la mayoría estos están por debajo de los límites fijados por las normas de vuelco provincial. Por tal motivo los valores totales recuperables que se tratan en éste texto corresponden al contenido presente en los sólidos en suspensión.

En los casos en que la normativa y guías citadas no tenían definido un valor límite de comparación (conductividad, sulfatos alcalinidad y dureza) se tuvo en cuenta para el análisis y conclusiones los valores obtenidos en la muestra de referencia (sin vertidos).

Los niveles guía de calidad de agua ambiental seleccionados para realizar las comparaciones del contenido en metales totales, corresponden a agua destinada a riego y a bebida de mamíferos, puesto que estos valores están especificados para las mismas condiciones que aquellos (muestras sin filtrar). La elección de los niveles correspondientes a agua destinada a mamíferos responde al hecho de que los mismos son más estrictos.

Por lo que respecta a la ley N° 24585 del Código de Minería, los niveles guías escogidos fueron los de protección de la vida acuática, fuentes para bebida humana y bebida de ganado.

En parámetros considerados típicos de la mayoría de los efluentes minero industriales (sólidos totales, arsénico y metales pesados), la comparación se realizó para tres campañas de muestreo (invierno, verano y otoño).

2.1.2 Determinaciones de Caudal

El caudal es uno de los parámetros importantes en las determinaciones que se realizan “in situ” dado que determina la carga de contaminantes que un determinado efluente aporta al curso receptor y la concentración de ellos en el mismo.

Para el caso del arroyo, se ha evaluado determinando la velocidad de la corriente del río y la sección de forma aproximada mediante la expresión $Q = A V_m$ (m³/seg.).

En el caso de los efluentes descargados por medio de una cañería y en la medida del posible acceso a dicha descarga, se determinó en forma aproximada midiendo el tiempo de llenado de un recipiente previamente aforado. Cuando ello no fue posible, se adoptó el valor de caudales de bombas suministrado por personal del sector.

En la tabla 2.1 se resumen los valores obtenidos por medición o por información recibida de la empresa. Los puntos de medición de caudales coinciden con las estaciones de muestreo de efluentes mineros industriales.

El valor de caudal determinado para el curso del arroyo después de las descargas de Planta y Usina, fue realizado en el momento en que la planta no estaba en producción, por lo tanto se estima que el mismo se ve incrementado por estas descargas.

Tabla 2.1: Valores de caudales para arroyo San José y efluentes mineros industriales
(Datos: Determinación propia e informes de YCRT)

Lugar de medición	Caudal m ³ / h (julio 2006)
A° en la Zona de referencia	170
Efluente de Talleres y Minas 2 y 4	18
Efluente directo de planta	50
Descarga de la Pileta de lodos	200
Efluente Frente a Usina y Mina 3	3
Efluente de Usina	20
A° Después de las descargas	240

Los valores obtenidos para el caso del arroyo después de las descargas difieren de los históricos que se muestran en la Tabla 2.2. Para cálculos posteriores se adopta el valor dado para diciembre de dicha tabla, que sería intermedio del máximo histórico determinado y el obtenido por cálculo.

Tabla 2.2: Caudales medidos en arroyo San José (Fuente INA 1998)

Arroyo San José	Q m ³ /h (Jun 1998)	Q m ³ /h (Dic. 1998)
Después de Descargas de Planta	1440	666

2.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.2.1 Comparación de valores obtenidos con límites

2.2.1.1 Comparación de pH

Si bien el pH no es una variable que caracterizó grupos en el análisis estadístico, adquiere relevancia por el hecho de tratarse de efluentes mineros donde puede existir una importante variación en función de los drenajes ácidos. No obstante y tal como se puede apreciar en la Figura 2.1, los valores de pH obtenidos rondan la neutralidad además de estar comprendidos en el rango fijado por los límites de vuelco establecidos por la ley N° 2658.

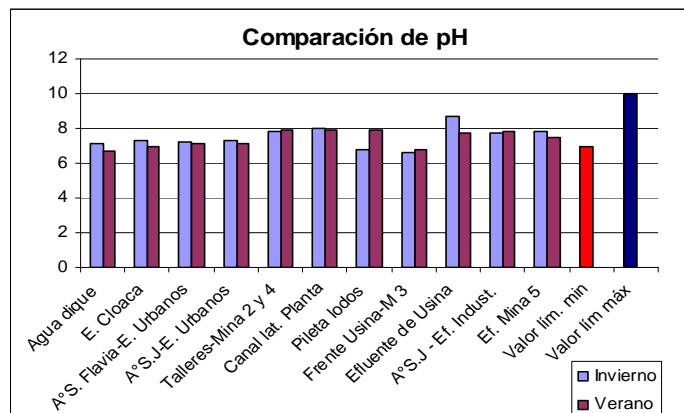


Figura 2.1: Gráfico comparativo de pH para efluentes y arroyo

2.2.1.2 Comparación de alcalinidad

En las normas y niveles usados en la presente comparación, no se especifica un límite permitido de alcalinidad. Su importancia, al igual que el pH, está relacionada con los drenajes ácidos de mina. En la Figura 2.2 se puede observar la elevada alcalinidad del efluente de la mina en explotación (N° 5) y del ubicado frente a la Central térmica. Esto explica en parte el carácter neutro de éstos vertidos. Por otra parte los efluentes poblacionales y los provenientes de talleres y minas abandonadas (N° 2 y N° 4) también tienen valores que superan entre 2 a 3 veces el de la zona de referencia lo que se refleja en el curso del arroyo tanto después de los vertidos minero industriales, como después de los vertidos poblacionales.

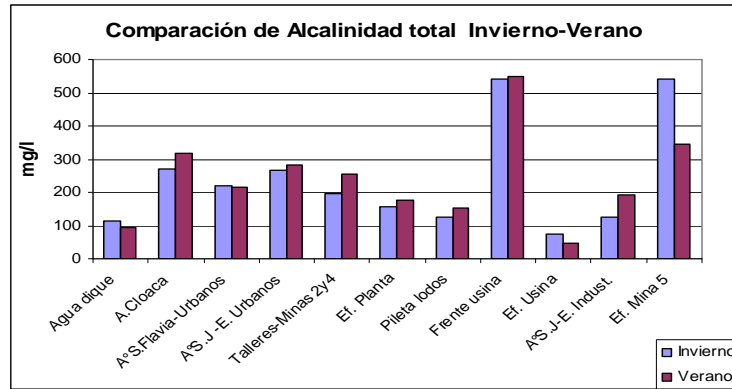


Figura 2.2: Gráfico comparativo de la alcalinidad total para todos los efluentes y el arroyo

2.2.1.3 Comparación de Sólidos suspendidos

La normativa vigente en la provincia de Santa Cruz contempla como parámetro el contenido de sólidos sedimentables (10 min. Cono Imhoff), sin embargo para fines ambientales en este análisis se consideran los sólidos suspendidos como tales. Por lo tanto el límite establecido por la legislación (≤ 1 mg/l) es ampliamente superado por todos los efluentes. En la Figura 2.3 se visualiza como las descargas afectan directamente al arroyo (A° S. J- E. Industriales). El contenido de sólidos en el curso de agua, sobrepasa la concentración de base del dique que en la figura queda fuera de escala.

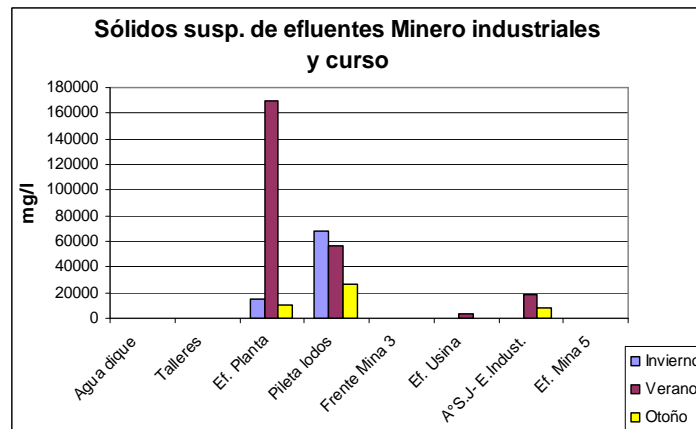


Figura 2.3: Gráfico comparativo de sólidos suspendidos de E. Minero industriales y arroyo

2.2.1.4 Comparación de Dureza Total

Este parámetro no está contemplado en los parámetros de referencia usados en esta comparación, por lo que se analiza la variación del mismo respecto a la muestra de referencia.

Obsérvese en la Figura 2.4 la elevada dureza de aquellos efluentes provenientes de la mina y de la Usina que superan entre 6 a 7 veces el valor de referencia.

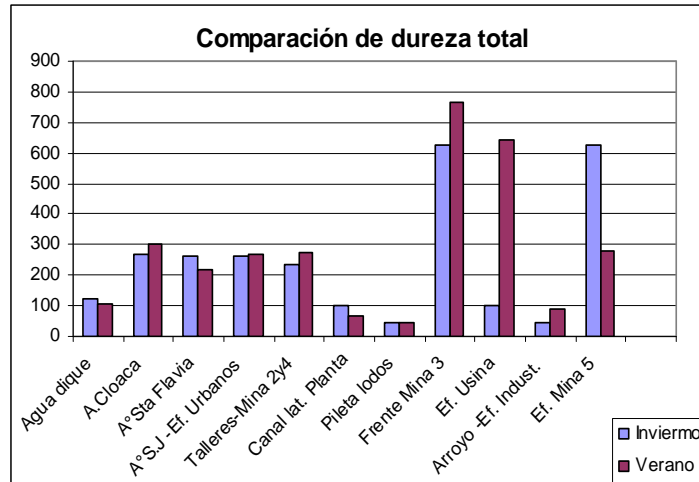


Figura 2.4: Gráfico comparativo de dureza para efluentes y curso del arroyo

2.2.1.5 Comparación de Sulfatos

No hay límites ni valores guía para este parámetro por lo que se toma como valor de comparación la muestra sin vertidos.

Los efluentes con mayor contenido de sulfatos son los mineros y el de Usina superando entre 5 a 6 veces el agua de dique (Fig. 2.5). Según bibliografía, la presencia de altos contenidos de sulfatos en efluentes mineros se debe a la formación inicial de drenajes ácidos neutralizados posteriormente. Cuando el contenido supera los 480 mg/l no se puede usar con fines agrícolas.

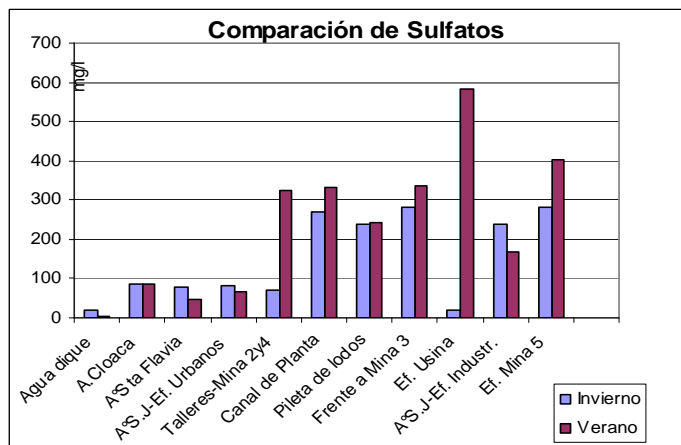


Figura 2.5: Gráfico comparativo de sulfatos para efluentes y curso del arroyo

2.2.1.6 Comparación de Conductividad

Al no figurar valores límites ni niveles guía se considera como parámetro las conductividades determinadas en las muestras de referencia. Estos valores son superados entre 3 a 10 veces, siendo los efluentes con mayor conductividad los de la mina en explotación (Mina 5).

La Figura 2.6 muestra lo expresado anteriormente. En ella se ha incluido el límite por encima del cual, según la bibliografía, un agua no puede ser usada para riego (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

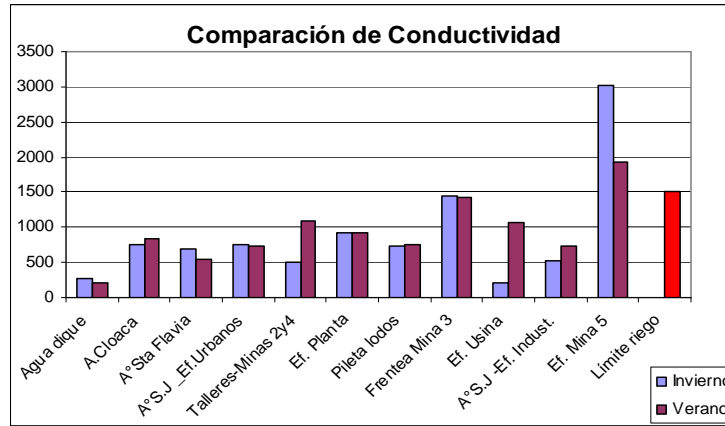


Figura 2.6: Gráfico comparativo de conductividad para efluentes y arroyo

2.2.1.7 Comparación de Arsénico

Como se muestra en a figura 2.7, todos los valores de arsénico dieron por debajo del valor límite de vuelco provincial de 0,5 mg/l a excepción de la muestra de verano del efluente de la Usina con una concentración de 0,69 mg/l. Este valor supera también todos los niveles guía adoptado. Se observa además que muestras de verano e invierno correspondientes a la pileta de lodos de la planta depuradora superan algunos de estos niveles guía (bebida de mamífero y protección de la vida acuática)

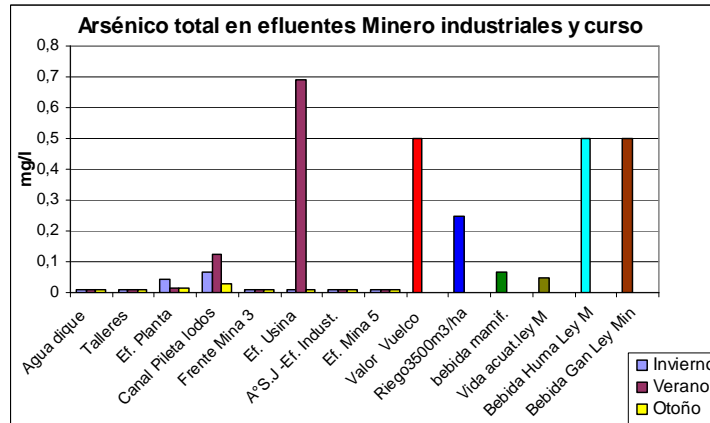


Figura 2.7: Gráfico comparativo de arsénico total para efluentes industriales y arroyo

2.2.1.8 Comparación de Cobre

En la figura 2.8 se observa el notable aumento de las concentraciones de cobre en los efluentes minero industriales respecto al agua del dique tomada como referencia que queda fuera de escala. El valor límite de vuelco es superado por aquellos efluentes pertenecientes a

la pileta de lodos existiendo una correspondencia con el determinado en el curso del arroyo San José (esta correspondencia no se da en la muestra de invierno).

La comparación con los Niveles guía, arroja más individuos que sobrepasan dichos límites.

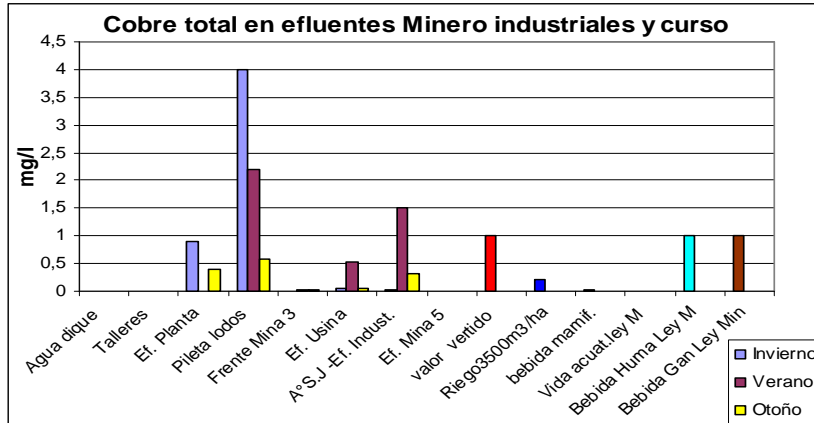


Figura 2.8: Gráfico Comparativo de cobre total en efluentes industriales y arroyo

2.2.1.9 Comparación de Hierro

El límite de vuelco estipulado en la legislación santacruceña (2mg/l) se define para concentraciones en disolución. En los niveles guía usado no se especifica dicho parámetro.

Es uno de los metales que se encuentran en mayor proporción en las muestras, sobre todo las del canal lateral de planta y del desborde de la pileta de lodos. Este proviene no sólo de la roca sino del contenido de magnetita usado como materia prima para la depuración del carbón. En la Figura 2.9 se observa que estos efluentes pueden alcanzar contenidos mayores a 850 mg/l que deja fuera de escala el resto de los valores.

El bajo contenido (menor a 1 mg/l) en muestras que involucran efluentes del interior de mina unido al alto contenido de sulfatos ya planteado, podría deberse a la formación inicial de drenajes ácidos neutralizados.

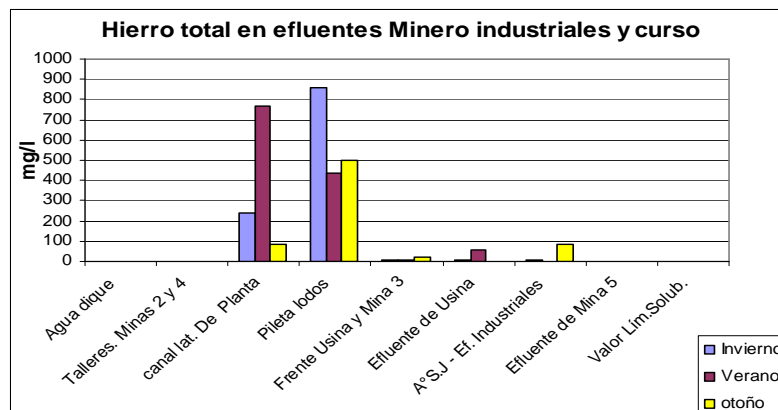


Figura 2.9: Gráfico Comparativo de Hierro total en Efluentes Industriales y arroyo

2.2.1.10 Comparación de Manganeso

Al igual que el hierro el límite de vuelco (0,5 mg/l) de la legislación de la provincia de Santa Cruz está especificado para contenidos de este metal en disolución.

En el análisis de los valores obtenidos en todas las campañas para manganeso disuelto, se encontró que sólo la muestra correspondiente al efluente frente a la usina y mina 3 arroja valores 7 a 8 veces el límite mencionado al comienzo; mientras que el resto se mantiene por debajo. En los Niveles guía argentinos para el agua de riego o bebida no está especificado, mientras que en los niveles guía de la ley N° 24585 solo figura el valor para protección de vida acuática.

La Figura 2.10 muestra la comparación de valores totales de éste metal. Dicha figura pone de manifiesto el elevado contenido existente en varios de los efluentes minero industriales tales como los de la planta depuradora y pileta de lodos. Nuevamente esto se refleja en el arroyo después de éstos vuelcos.

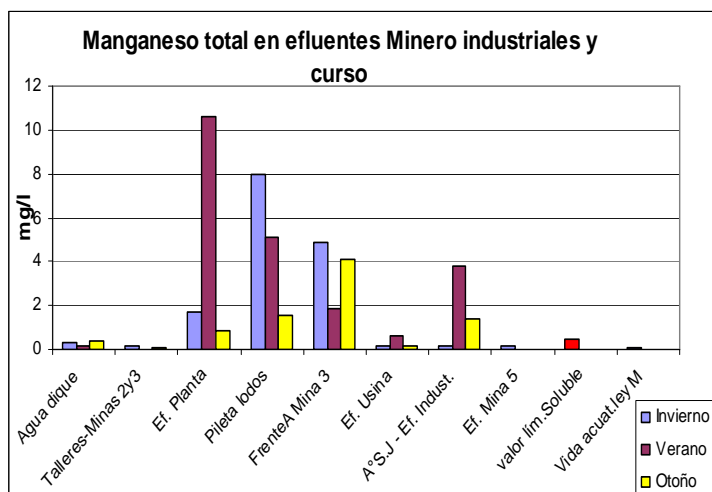


Figura 2.10: Gráfico comparativo de manganeso Total en E. Industriales y arroyo

2.2.1.11 Comparación de Plomo

El límite de vuelco (0,5 mg/l) no especifica si es para plomo disuelto o total recuperable. La comparación se muestra en la Figura 2.11 para los contenidos de plomo total y de ella se infiere que dicho límite solo es superado por el valor del efluente directo de planta determinado en la campaña de verano. Si se contrastan con el Nivel guía para agua ambiental destinada al consumo de mamíferos y con el destinado a bebida humana de la ley de protección ambiental (N° 24584) sucede lo mismo que para el caso del manganeso, es decir aumenta la cantidad de individuos que no lo cumplen. No se ha considerado el agua destinada a riego, puesto que el valor límite supera ampliamente todos los valores determinados (3,3 mg/l).

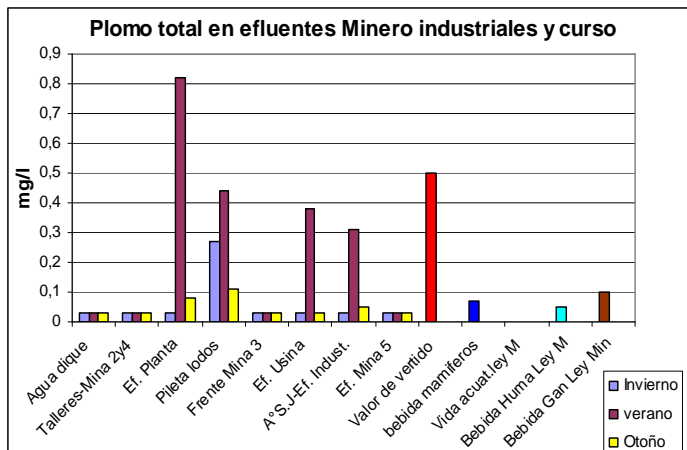


Figura 2.11: Gráfico Comparativo de Plomo total en E. Industriales y arroyo

2.2.1.12 Comparación de Mercurio

Los niveles guía argentinos de calidad de agua ambiental no especifican valores para los destinos usados en este análisis y en la comparación realizada con el límite de vuelco provincial que no especifica si es disuelto o total recuperable se observa que el contenido de mercurio de los efluentes de la planta depuradora (canal y pileta de lodos), el de la usina y el curso del arroyo después de los vertidos superan entre 9 a 100 veces el mismo, sobretodo en la muestra de verano de planta que arrojó un elevado contenido en sólidos.

Dado que los niveles guía de la ley 24584 está muy por debajo de dichos contenidos es evidente que son superados, no sólo por los vertidos mencionados, sino por las descargas provenientes de la mina (Minas 2 y 4 con efluente de talleres y Mina 5 en la Figura. 2.12).

Por lo que respecta a los contenidos de mercurio disuelto determinados, solo se puede asegurar que no superan los valores permitidos de vuelco provincial pero no se puede afirmar lo mismo respecto de algunos de los niveles de la ley N° 24585: 0,0001 para protección de vida acuática, 0,001 para bebida y 0,002 para bebida de ganado. Ello se debe a que los valores reportados por el laboratorio indican contenidos menores a 0,005 mg/l.

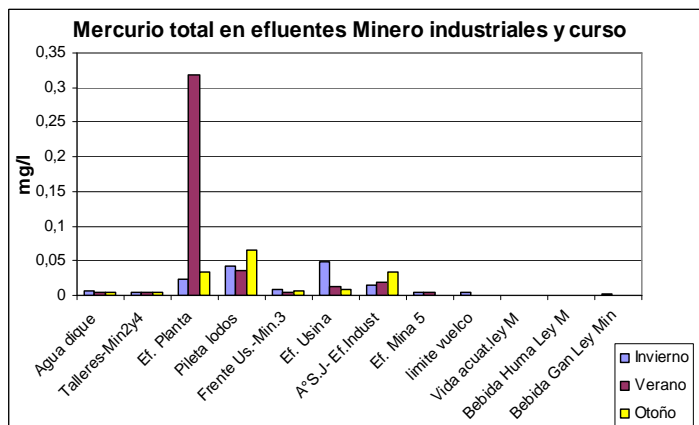


Figura 2.12: Gráfico Comparativo de Mercurio total en efluentes Industriales y arroyo

2.2.1.13 Comparación de Zinc

La Figura 2.13 muestra que al igual que en la mayoría de los metales analizados, los valores tomados para la comparación son superados por los efluentes de la planta y de la Usina. En este caso, los valores guías argentinos para calidad de agua destinada a consumo de animales no está especificado y al comparar con alguno de los niveles de la ley de protección ambiental aumenta el número de individuos que los superan.

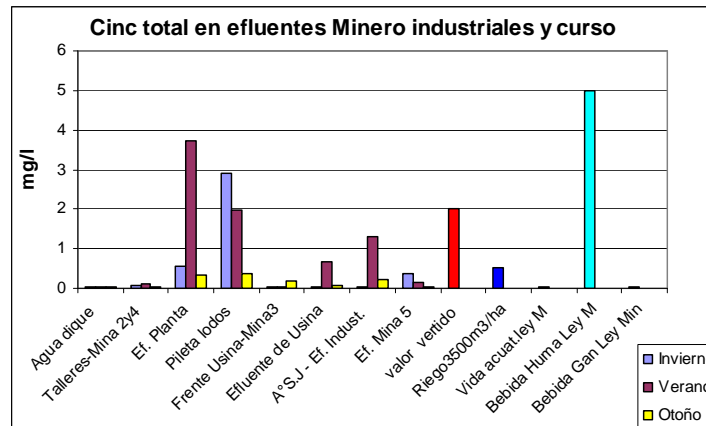


Figura 2.13: Gráfico comparativo de Cinc Total en efluentes Industriales y arroyo

2.2.1.14 Comparación de Cromo y Cadmio

Como se puede observar en las figuras 2.14 y 2.15, si se consideran los límites de vertido estipulado por la ley provincial N° 2658 para el cadmio (0,1 mg/l) y para el cromo total (2,2), ninguno de los efluentes considerados o del curso del arroyo, los sobrepasa.

Al confrontarlos con los Niveles guía, la situación debe diferenciarse para uno y otro metal. En el caso del cadmio, las concentraciones en los efluentes siguen estando por debajo de los mismos (salvo para agua destinada a bebida humana).

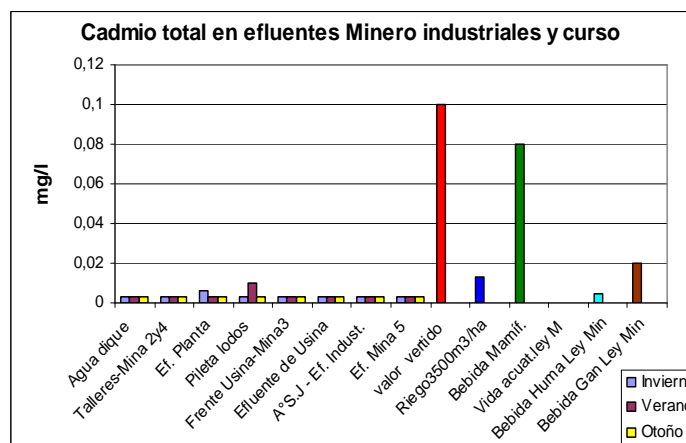


Figura 2.14: Gráfico Comparativo de Cadmio total en efluentes industriales y arroyo

Por lo que respecta al contenido de cromo, varias de las descargas superan dichos niveles algunos de los cuales quedan fuera de la escala de representación.

Obsérvese que la calidad del agua del curso superficial, al igual que en los análisis precedentes está notablemente influenciada por los vuelcos de la planta depuradora y de la Central térmica.

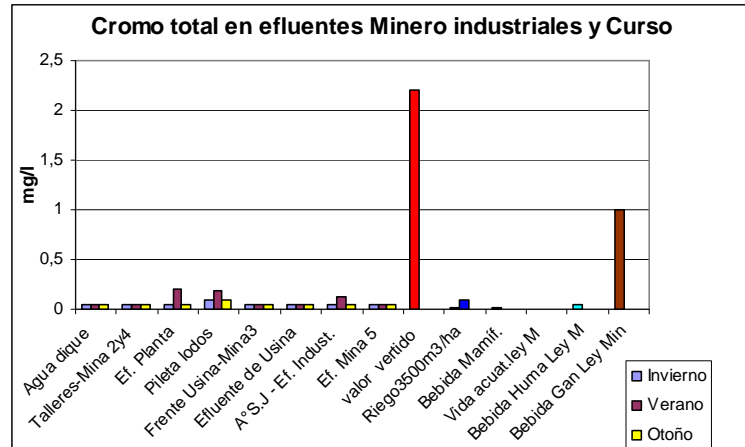


Figura 2.15: Gráfico comparativo de Cromo total en Efluentes Industriales

2.2.2 Conclusiones de la comparación con límites

- Si bien los parámetros fisicoquímicos corrientes considerados, tales como conductividad, alcalinidad y contenido de sulfatos no están contemplados en los límites de vuelco o en los niveles guía de agua ambiental, los efluentes minero industriales tiene valores que superan entre tres a seis veces el agua del arroyo tomada como referencia. Esto se traduce en un incremento en el curso mencionado después de las descargas.
- Efluentes provenientes del sector de la Planta depuradora y la Central térmica, poseen contenido totales recuperables (muestra sin filtrar) de cromo, cobre, plomo y cinc de la que exceden los niveles guías nacionales para agua ambiental definidos en idénticas condiciones (agua de riego y bebida de mamífero). Para el resto de los metales determinados, esta normativa no especifica valores guías. para los destinos considerados.
- Valores de Manganeseo disuelto en uno de los efluentes mencionados, superan los límites de vuelco establecidos en ley provincial 2658. Puesto que para el resto de los metales dicha ley no especifica si se trata de contenidos disueltos o recuperables; en el caso de referirse a metales en solución todos los valores determinados están por debajo de los legislados pero si se refiere a totales recuperables, los límites de plomo, cobre, cinc y mercurio son sobrepasados por los efluentes de planta mientras que el de la central termoeléctrica supera sólo el límite para mercurio.

- El contenido cadmio, tanto el soluble como el total recuperable, no supera el valor de vertido provincial ni los niveles guía considerados mientras que el de cromo total recuperable, está por encima de los estipulados aún en el agua de referencia.
- Los contenidos de mercurio total presente tanto en los efluentes de planta como en el de Usina (con arrastre de ceniza) superan, entre 9 a 100 veces los valores admisibles de vuelco provincial y niveles guía de la ley de protección ambiental (aunque en éstos últimos no se especifica si se trata de concentraciones disueltas o totales).
- Los efluentes que transportan agua del interior de mina no poseen contenido metálico disuelto ni total que escape a los valores de vuelco.
- Por lo expuesto precedentemente, efluentes de Planta depuradora de Carbón y de Usina quedan encuadrados como residuos peligrosos de acuerdo a la ley nacional 24051. Los mismos están contemplados en el ítem Y18 “Residuos resultante 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

2.2.3 Valoración de la calidad de los efluentes y del Curso del Arroyo

Se realiza una valoración tomando como base el análisis estadístico del informe técnico científico denominado “Diferenciación de efluentes minero industriales del Carbón y poblacionales mediante el uso de la estadística multivariada” (Caballero A. 2008) y el análisis comparativo del apartado anterior.

La metodología empleada se basa en la asignación de un puntaje a cada muestra representativa del efluente o curso, el cual se valoriza mediante su comparación con una escala asociada a una calificación cualitativa. Dicho puntaje se obtiene como la sumatoria de valores dados a cada uno de los parámetros determinados en las muestras en función de su pertenencia a un rango de variación del mismo y teniendo cuenta los límites permitidos (Ver tablas 2.3 y 2.4).

Los diferentes rangos, fueron obtenidos al realizar la discretización de cada variable cuantitativa mediante el software XLSTAT en el tratamiento estadístico de los datos pero no todos se han usado tal cual realizándose una adecuación de rangos en función de la amplitud de cada uno. De esta forma, aquellos rangos que abarcaban una amplia gama de valores intermedios de la variable, fueron subdivididos a fin de poder considerar calidades de agua intermedio en función del marco legal adoptado. Por ejemplo, en el caso de sólidos suspendidos, el primer rango obtenido en la discretización realizada por el programa XLSTAT es de [5 a 9166] mg/l. Esta variación no permite distinguir bajos valores de la muestra tomada como referencia (sin aportes de descargas), de aquellos con contenidos de sólido medio, alto o muy alto, por lo que se procedió a subdividirlo considerando la relación existente entre dichos valores, los valores determinados para todas las muestras y la calidad de agua que cada uno define.

La tabla 2.3 muestra el puntaje asignado a cada rango de variación de las distintas variables. Se asignó el número 1 a aquellos con extremos menores, salvo en el caso del mercurio que por ser el metal más crítico encontrado en varias muestras y teniendo en cuenta que los extremos del primer rango sobrepasan los límites permitidos, se le asignó el valor 2.

La tabla 2.4 muestra el puntaje para cada muestra en las campañas de invierno y verano respecto al contenido de metales. En la misma se incluyó los valores determinados para el río Turbio (Tramo Primavera) a título comparativo, puesto que tanto la planta depuradora de carbón como la Usina usan agua proveniente de este río.

Tabla 2.3: Asignación de puntajes para cada rango de cada variable (Elaboración propia)

SÓLID. SUSP.	VALORACIÓN	MAGNESIO	VALORACIÓN
10 a 73	1	1 A 7,5	1
73 a 500	2	7,5 A 18	2
500 a 9166	3	18 A 33	3
9166 a 60000	4	33 A 55	4
60000 a 169240	5		
DUREZA TOTAL	VALORACIÓN	COBRE	VALORACIÓN
42 a 77	1	0 a 0,03	1
77a170	2	0,03 a 0,3	2
170a249	3	0,3 a 1,5	3
249a465	4	1,5 a 2,8	4
465a765	5	2.8 a 4	5
SULFATOS	VALORACIÓN	HIERRO	VALORACIÓN
4 A 35	1	0 a 0,5	1
35 A 128	2	0,5 a 2	2
128 A 303	3	2 a 148	3
303 A 493	4	148 a 604	4
CONDUCTIVIDAD	VALORACIÓN	604 a 858	5
207a391	1	MANGANESO	VALORACIÓN
391a791	2	0 a 0,5	1
791a1255	3	0,5 a 1,2	2
1255a3020	4	1,2 a 2,9	3
CLORUROS	VALORACIÓN	2,9 a 6,5	4
3 A 14	1	6,5 a 10,6	5
14 A 25	2	MERCURIO	VALORACIÓN
25 A 50	3	0.005 a 0.011	2
50 A 193	4	0.011 a 0.03	3
ALCALINIDAD	VALORACIÓN	0.03 a 0.318	4
49 a 139	1	0.03 a 0.318	5
139 a 238	2	PLOMO	VALORACIÓN
238 a 299	3	0,03 0,15	1
299 a 442	4	0,15 A 0,35	2
442 a 549	5	0,35 A 0,63	3
SODIO	VALORACIÓN	ZINC	VALORACIÓN
0 a 8	1	0,02 a 0,28	1
8 A 68	2	0,28 a 0,99	2
68 a 111	3	0,99 a 2,43	3
111 a 186	4	2,43 a 3,73	4
186 a 338	5		
CALCIO	VALORACIÓN		
13 a 22	1		
22 a 51	2		
51 a 154	3		
154 a 238	4		

Tabla 2.4: Puntaje calculado para cada muestra respecto al contenido de metales recuperables
(Elaboración Propia)

ORIGEN	Cobre	Hierro	Mangan.	Mercurio	Plomo	Zinc	Puntaje
R. Turbio(Primavera)	0,01	0,13	0,01	0,005	0,03	0,01	
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	7
Rebalse Dique I	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	7
Rebalse Dique V	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03 a 0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	7
Vertido Cloacal I	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	7
Vertido Cloacal V	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	7
Vertidos- A°S. Flavia I	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	7
Vertidos- A°S. Flavia V	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	2	1	2	1	1	8
S.José con E.Urbanos I	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	2	3	1	9
S.José con E. UrbanosV	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	2	1	2	1	1	8
Efl.Talleres- Mina (2,4) I	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	2	1	2	1	1	8
Efl.Talleres- Mina (2,4) V	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	2	1	2	1	1	8
Efluente Planta Dep. I	0,3 a 1,5	148-604	1,2 a 2,9	0.011 a 0.03	0.03a0.15	0,28 a 0,99	
VALORACIÓN	3	4	3	3	1	2	16
Efluente Planta Dep. V	2,8 a 4	604-858	6,5 a 10,6	0,03 a 0,31	0,63 a 0,85	2,43 a 3,73	
VALORACIÓN	5	5	5	4	5	4	28
Efl. Pileta de Lodos I	2,8 a 4	604-858	6,5 a 10,6	0,03 a 0,31	0,15 A 0,35	2,43 a 3,73	
VALORACIÓN	5	5	5	4	2	4	25
Efl. Pileta de LodosV	1,5 a 2,8	148-604	2,9 a 6,5	0,03 a 0,31	0,35 A 0,63	0,99 a 2,43	
VALORACIÓN	4	4	4	4	3	3	22
Efluente Frente Usina I	0 a 0,04	2 a 148	2,9 a 6,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0,02 a 0,28	
VALORACIÓN	1	3	4	2	1	1	12
Efluente Frente UsinaV	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.005a0.011	0.03a0.15	0,02 a 0,28	
VALORACIÓN	1	3	3	2	1	1	11
Vertidos Usina I	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.005a0.011	0.03a0.15	0,02 a 0,28	
VALORACIÓN	1	3	3	2	1	1	11
Vertidos Usina V	0,3 a 1,5	2 a 148	0,5 a 1,2	0.011 a 0.03	0,35 a 0,63	0,28 a 0,99	
VALORACIÓN	3	3	2	3	3	2	16
S.José con E. Mineros I	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.011 a 0.03	0.03a0.15	0,02 a 0,28	
VALORACIÓN	1	3	3	3	1	1	12
S.José con E. MinerosV	0,3 a 1,5	148-604	2,9 a 6,5	0.011 a 0.03	0.03a0.15	0,99 a 2,43	
VALORACIÓN	3	4	4	3	1	3	18
Efluentes Mina 5 I	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.005a0.011	0.03a0.15	0,28 a 0,99	
VALORACIÓN	1	3	3	2	1	2	12
Efluentes Mina 5 V	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0,02 a 0,28	
VALORACIÓN	1	2	1	2	1	1	8

I: Invierno
V: Verano

Para establecer una relación entre los puntajes obtenidos y una valoración cualitativa adecuada, se recurrió a la agrupación resultante del análisis estadístico para metales y a las conclusiones extraídas en él respecto a las características significativas de cada grupo. La tabla 2.5 muestra esta relación y la valoración cualitativa resultante. La tabla 2.6 muestra la misma valoración pero diferenciada por campaña para cada efluente.

Tabla 2.5: Valoración cualitativa del contenido de metales de cada muestra
(Elaboración propia)

ORIGEN	Puntaje	Grupo	Valoración
Rebalse Dique I	7	M1	Muy Bajo a Bajo
Rebalse Dique V	7	M1	
Vertido Cloacal I	7	M1	
Vertido Cloacal V	7	M1	
Vertidos- A° S. Flavia I	7	M1	
Vertidos- A° S. Flavia V	8	M1	
A° San José con E. Urbanos V	8	M1	
Efluente Talleres- Mina (2,4) I	8	M1	
Efluente Talleres- Mina (2,4) V	8	M1	
Efluentes Mina 5 V	8	M1	
S. José con E. Urbanos I	9	M1	
Efluente Frente Usina V	11	M1	
Efluentes de Usina I	11	M1	
Efluentes Mina 5 I	12	M1	
A° San José con E. Mineros I	12	M1	
Efluente Frente Usina I	12	M1	
Efluente Planta Dep. I	16	M2	Medio
Efluentes de Usina V	16	M2	Medio a
San José con E. Mineros V	18	M3	
Efluente Pileta de Lodos V	22	M3	Alto
Efl. Pileta de Lodos I	25	M4	Altos a Muy alto
Efluente Planta Dep. V	28	M4	

Tabla 2.6: Valoración cualitativa de cada efluente por campaña (Elaboración propia)

Lugar	Invierno	Verano
Rebalse Dique S. José	Bajo	Bajo
Vertido Cloacal (Urbano)	Bajo	Bajo
Vertidos- A° S. Flavia	Bajo	Bajo
A° S. José con E. Urbanos	Bajo	Bajo
Efluente Talleres - Mina (2,4)	Bajo	Bajo
Efluente Planta Depurad.	Medio	Alto a muy alto
Efluente Pileta de Lodos	Alto a muy alto	Medio a alto
Efluente Frente a Usina	Bajo	Bajo
Efluentes de Usina	Bajo	Medio
A° San José con E. Mineros	Bajo	Medio a alto
Efluentes de Mina 5	Bajo	Bajo

De igual forma a la descrita para metales se realizó el cálculo del puntaje para cada muestra pero considerando tanto los metales recuperables como las variables fisicoquímicas corriente. La tabla 2.7 muestra el puntaje obtenido para cada efluente.

Autora. Ing. Alba Lucía Caballero

Tabla 2.7: Puntaje calculado para cada muestra respecto a todas las variables
(Elaboración propia)

ORIGEN	Conductiv.	Sólido Susp.	Alcalinid.	Dureza	Cloruros	Sulfatos	Sodio
R. Turbio(Primavera)	130	50	57	60	6	1	7
VALORACIÓN	0	1	1	1	1	0	1
Rebalse Dique I	207a391	10 a 73	49a139	77 a 170	3a14	4 a35	0 a 8
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	1
Rebalse Dique V	207a391	10 a 73	49a139	77 a 170	3a14	4 a 35	0 a 8
VALORACIÓN	1	1	1	2	1	1	1
Vertido Cloacal I	391 a 791	10 a 73	238 a 299	249 a 465	26a193	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	2	1	3	4	4	2	2
Vertido Cloacal V	791 a 1255	73 a 500	299 a 442	249 a 465	26a193	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	3	2	4	4	4	2	2
Vertidos- A°S. Flavia I	391 a 791	10 a 73	139 a 238	249 a 465	26a193	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	2	1	2	4	4	2	2
Vertidos- A°S. Flavia V	391 a 791	10 a 73	139 a 238	249 a 465	22a26	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	2	1	2	4	3	2	2
S.José con E.Urbanos I	391 a 791	10 a 73	238 a 299	249 a 465	26a193	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	2	1	3	4	4	2	2
S.José con E. UrbanosV	391 a 791	73 a 500	238 a 299	249 a 465	26a193	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	2	2	3	4	4	2	2
Efl.Talleres- Mina (2,4) I	391 a 791	10 a 73	139 a 238	249 a 465	14 a 22	35 a 128	8 a 68
VALORACIÓN	2	1	2	4	2	2	2
Efl.Talleres- Mina (2,4) V	791 a 1255	10 a 73	238 a 299	170 a 249	14 a 22	303 a 582	111 a 186
VALORACIÓN	3	1	3	3	2	4	4
Efluente Planta Dep. I	791 a 1255	9166 a 60000	139 a 238	77 a 170	22a26	128 a 303	111 a 186
VALORACIÓN	3	4	2	2	3	3	4
Efluente Planta Dep. V	791 a 1255	60000 a 169240	139 a 238	42 a 77	3a14	303 a 582	186 a 338
VALORACIÓN	3	5	2	1	1	4	5
Efl. Pileta de Lodos I	391 a 791	60000 a 169240	49a139	42 a 77	3a14	128 a 303	111 a 186
VALORACIÓN	2	5	1	1	1	3	4
Efl. Pileta de LodosV	391 a 791	9166 a 60000	139 a 238	42 a 77	3a14	128 a 303	111 a 186
VALORACIÓN	2	4	2	1	1	3	4
Efluente Frente Usina I	1255 a 3020	10 a 73	442 a 549	465 a 765	3a14	128 a 303	68 a 111
VALORACIÓN	4	1	5	5	1	3	3
Efluente Frente UsinaV	1255 a 3020	73 a 500	442 a 549	465 a 765	14 a 22	128 a 303	68 a 111
VALORACIÓN	4	2	5	5	2	3	3
Vertidos Usina I	207a391	73 a 500	49a139	77 a 170	3a14	4 a 35	8 a 68
VALORACIÓN	1	2	1	2	1	1	2
Vertidos Usina V	791 a 1255	500 a 9166	49a139	465 a 765	3a14	303 a493	8 a 68
VALORACIÓN	3	3	1	5	1	4	2
S.José con E. Mineros I	391 a 791	73 a 500	49a139	42 a 77	3a14	128 a 303	111 a 186
VALORACIÓN	2	2	1	5	1	3	4
S.José con E. MinerosV	391 a 791	9166 a 60000	139 a 238	77 a 170	14 a 22	128 a 303	111 a 186
VALORACIÓN	2	4	2	2	2	3	4
Efluentes Mina 5 I	1255 a 3020	10 a 73	442 a 549	465 a 765	3a14	128 a 303	68 a 111
VALORACIÓN	4	1	5	5	1	3	3
Efluentes Mina 5 V	1255 a 3020	10 a 73	299 a 442	249 a 465	26a193	303 a 493	186 a 338
VALORACIÓN	4	1	4	4	4	4	5

Tabla 2.7: (Continuación): Valoración cualitativa respecto a todas las variables

ORIGEN	Calcio	Magnesio	Cobre	Hierro	Mangan.	Mercurio	Plomo	Zinc	Total
R. Turbio(Primavera)	14	6	0,01	0,13	0,01	0,005	0,03	0,01	
VALORACIÓN	1	1	1	1	1	2	1	1	14
Rebalse Dique I	22 a 51	1 a 7,5	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02a 0.28	
VALORACIÓN	2	1	1	1	1	2	1	1	18
Rebalse Dique V	22 a 51	1 a 7,5	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03 a 0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	2	1	1	1	1	2	1	1	18
Vertido Cloacal I	51 a 154	18 a 33	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	3	1	1	1	2	1	1	31
Vertido Cloacal V	51 a 154	18 a 33	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	2	3	1	1	1	2	1	1	33
Vertidos- A° S. Flavia I	51 a 154	33a55	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	4	1	1	1	2	1	1	31
Vertidos- A° S. Flavia V	51 a 154	7,5 a 18	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	2	1	2	1	2	1	1	29
S.José E. Urbanos I	51 a 154	33a55	0 a 0,04	0 a 0,6	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	4	1	1	1	2	3	1	34
S.José - E. Urbanos V	51 a 154	18 a 33	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	3	1	2	1	2	1	1	33
Efl.Talleres- Mina (2,4) I	51 a 154	7,5 a 18	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	2	1	2	1	2	1	1	28
Efl.Talleres-Mina (2,4)V	51 a 154	18 a 33	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	3	1	2	1	2	1	1	34
Efluente Planta Dep. I	22 a 51	1 a 7,5	0,3 a 1,5	148-604	1,2 a 2,9	0.011 a 0,03	0.03a0.15	0,28 a 0,99	
VALORACIÓN	2	1	3	4	3	3	1	2	40
Efluente Planta Dep. V	13 a 22	1 a 7,5	2,8 a 4	604-858	6,5 a 10.6	0,03 a 0,31	0,63 a 0,85	2,43 a 3,73	
VALORACIÓN	1	1	5	5	5	4	5	4	51
Pileta de Lodos I	13 a 22	1 a 7,5	2,8 a 4	604-858	6,5 a 10.6	0,03 a 0,31	0,15 A 0,35	2,43 a 3,73	
VALORACIÓN	1	1	5	5	5	4	2	4	44
Pileta de Lodos V	13 a 22	1 a 7,5	1,5 a 2,8	148-604	2,9 a 6,5	0,03 a 0,31	0,35 A 0,63	0,99 a 2,43	
VALORACIÓN	1	1	4	4	4	4	3	3	41
Efl. Frente Usina I	154 a 238	18 a 33	0 a 0,04	2 a 148	2,9 a 6,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	4	3	1	3	4	2	1	1	41
Efl. Frente Usina V	154 a 238	33a55	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	4	4	1	3	3	2	1	1	43
Vertidos Usina I	22 a 51	7,5 a 18	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	2	2	1	3	3	2	1	1	25
Vertidos Usina V	154 a 238	7,5 a 18	0,3 a 1,5	2 a 148	0,5 a 1,2	0.011 a 0,03	0,35 a 0,63	0,28 a 0,99	
VALORACIÓN	4	2	3	3	2	3	3	2	41
S. José - E. Mineros I	13 a 22	1 a 7,5	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.011 a 0,03	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	1	1	1	3	3	3	1	1	32
S. José - E. Mineros V	22 a 51	1 a 7,5	0,3 a 1,5	148-604	2,9 a 6,5	0.011 a 0,03	0.03a0.15	0,99 a 2,43	
VALORACIÓN	1	1	3	4	4	3	1	3	39
Vertidos Mina 5 I	154 a 238	18 a 33	0 a 0,04	2 a 148	1,2 a 2,9	0.005a0.011	0.03a0.15	0,28 a 0,99	
VALORACIÓN	4	3	1	3	3	2	1	2	41
Vertidos Mina 5 V	51 a 154	7,5 a 18	0 a 0,04	0,6 a 2	0 a 0,5	0.005a0.011	0.03a0.15	0.02 a 0.28	
VALORACIÓN	3	2	1	2	1	2	1	1	39

Utilizando el mismo criterio explicado, se relacionaron los grupos resultantes en el análisis estadístico total a cada efluente y en función de las conclusiones sacadas respecto a las características de cada grupo se construyó la escala cualitativa (Tablas 2.8 y 2.9).

Obsérvese que muestras pertenecientes a la misma clase estadística quedaron valoradas diferentes debido a que la tipificación se hace solo con aquellas variables características en cambio en la metodología presente se usaron todas las variables. Así, la muestra del efluente de Usina de la campaña de Invierno que pertenece a la misma clase que la muestra de referencia, quedó valorizada en forma diferente debido a que posee puntaje más elevado para variables no características del grupo: Sólidos suspendidos, cloruros, hierro y manganeso. De ésta forma se tiene en cuenta la diferencia de calidad respecto a todas las variables.

Tabla 2.8: Asignación de grupo y valoración de calidad de efluentes para total de variables
 (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra Representativa	Puntaje	Clase	Valoración	
Rebalse Dique I	18	G1	Bueno	
Rebalse Dique V	18	G1		
Vertidos Usina I	25	G1	Regular +	
Efl.Talleres- Mina (2,4) I	28	G2	Regular -	
Vertidos- A°S. Flavia V	29	G2		
Vertido Cloacal I	31	G2		
Vertidos - A° S. Flavia I	31	G2		
S.José con Ef. Mineros I	32	G2		
Vertido Cloacal V	33	G2		
S. José - E. Urbanos V	33	G2		
S.José con Ef. Urbanos I	34	G2		
Efl.Talleres- Mina (2,4) V	34	G2		
Efluente Mina 5 V	39	G2		Malo
S.José con E. MinerosV	39	G6		
Efluente Planta Dep. I	40	G5		
Vertidos Usina V	41	G5		
Pileta de LodosV	41	G6		
Efluente Mina 5 I	41	G3		
Efluenre Frente Usina I	41	G3		
Efluente Frente UsinaV	43	G3		
Pileta de Lodos I	44	G4	Muy Malo	
Efluente Planta Dep. V	51	G4	Pésimo	

Tabla 2.9: Valoración cualitativa de calidad de efluentes por campaña (Elaboración propia)

Lugar	Invierno	Verano
Rebalse Dique S. José	Buena	Buena
Vertido Cloacal (Urbano)	Regular -	Regular -
A° S. Flavia con E. Urbanos	Regular -	Regular -
A° S. José con E. Urbanos	Regular -	Regular -
Efl. Talleres - Mina (2,4)	Regular -	Regular -
Efluente Planta Depuradora	Mala	Pésimo
Efluente Pileta de Lodos	Muy mala	Mala
Efluente Frente Usina	Mala	Mala
Efluentes de Usina	Regular +	Mala
S. José con E. Mineros	Regular -	Mala
Efluentes de Mina 5	Mala	Mala

2.2.4 VALORACIÓN DEL IMPACTO

Si bien los aspectos tratados en los apartados anteriores dan una idea del impacto producido en el Arroyo, a fin de cuantificar y valorar este impacto se realiza una matriz considerando distintos factores que tienen influencia en él. Se ha procedido a valorizar el mismo mediante una fórmula que involucra cinco componentes que se consideran importantes en la valoración: el caudal, la calidad, la peligrosidad y la forma de vertido y la intermitencia.

2.2.4.1 Caudal

Los valores de caudales adoptados para efluentes son los que figuran en la tabla 2.1 del apartado 2.1.2 y tal como se dijo en dicho apartado el adoptado para el curso del arroyo después de las descargas es el valor histórico de diciembre de la tabla 2.2.

Teniendo en consideración que a mayor caudal mayor contaminación, se procedió a realizar una discretización de los caudales en cinco clases a fin de asignarles un puntaje por orden de magnitud (Tabla 2.10).

2.2.4.2 Calidad

A partir de la escala cualitativa que figura en la tabla 2.8 del apartado 2.2.3 se construyó una escala para considerar el impacto. El mismo se muestra en la tabla 2.10

2.2.4.3 Peligrosidad

A fin de darle mayor peso a la calidad del efluente en la cuantificación del impacto, se define la peligrosidad del mismo en función de su contenido en metales totales recuperables. De esta forma se intenta diferenciar aquellos que no contienen metales pesados, de los que tienen bajo

y alto contenido. En la tabla 2.10 se muestra la escala y el criterio adoptado.

2.2.4.4 Disposición final

Aquellos efluentes que descargan directamente al curso de agua impactan más que los indirectos puesto que estos últimos realizan un recorrido antes de su descarga en el cual se producen filtraciones y deposiciones. Se diferencia entonces esta situación mediante un puntaje que figura en la tabla 2.10.

2.2.4.5 Intermitencia

No todas las descargas son continuas ya que algunos de los efluentes son vertidos en horario de producción. Esto se tiene en cuenta a la hora de cuantificar el impacto por lo que se ha valorizado en forma diferenciada este hecho.

Tabla 2.10: Puntuación de Componentes para la valoración del impacto
 (Elaboración propia)

Rango de caudales m ³ /h	Puntaje	Peligrosidad	Puntaje
3 a 34	1	(Contenido de metales)	
34 a 108	2	No contiene	1
108 a 183	3	Bajo contenido	2
183 a 433	4	Alto contenido	3
433 a 666	5	Tipo de vertido	Puntaje
V. Calidad	Puntaje	Indirecto	1
Buena	1	Directo	2
Regular –	2	Intermitencia	Puntaje
Regular+	3	Discontinuo	1
Malo	4		
Muy Malo	5	Continuo	2
Pésimo	6		

A partir de los componentes anteriores se calcula un puntaje de impacto para cada efluente en las distintas partes del año, el cual figura en la Tabla 2.11. El mismo ha sido calculado usando el siguiente algoritmo:

$$PI = C * P + Q + 2V + 2I$$

- PI: Puntaje de Impacto
- C: Calidad de Efluente
- P: Peligrosidad
- Q: Caudal
- V: Tipo de vertido
- I: Intermitencia

Como puede apreciarse, se pondera con mayor peso al tipo de efluente que está definido por el producto de su calidad con la peligrosidad, ya que ello representa la amenaza del vertido. En segundo lugar, se pondera a la disposición final ya que implica mayor o menor probabilidad de contaminación del recurso, la Intermitencia y por último el caudal.

Tabla 2.11: Cálculo del puntaje de Impacto por efluente en distintas partes del año
(Elaboración Propia)

Lugar	Calidad	Peligrosidad	Caudal	Disposición	Intermitencia	Puntaje
Efluente Talleres - Mina (2,4) I	2	1	1	1	2	9
Efluente Planta Depuradora I	4	3	2	1	1	18
Efluente Pileta de Lodos I	5	3	4	2	1	25
Efluente Frente Usina I	4	1	1	1	2	11
Efluentes de Usina I	2	1	2	1	2	10
Efluente Talleres - Mina (2,4) V	2	1	1	1	2	9
Efluente Planta Depuradora V	6	3	2	1	1	24
Efluente Pileta de Lodos V	4	3	4	2	2	24
Efluente Frente Usina V	4	1	1	1	2	11
Efluentes de Usina V	4	2	2	1	2	16

Los puntajes obtenidos fueron discretizados a partir del XLSTAT asignándole a cada rango una valoración cualitativa con la que se evaluó cada efluente. En la Tabla 2.12 se muestra esta discretización y en la 2.13 el Impacto que ocasiona cada efluente en el arroyo valorizado de acuerdo a esta escala.

Tabla 2.12: Escala cualitativa de impacto para rangos de impacto
(Elaboración Propia)

Impacto	Lím. Inferior	Lím. Superior
BAJO	9	13
MEDIO	13	17
ALTO	17	21
MUY ALTO	21	25

Tabla 2.13: Valoración del Impacto de cada Efluente (Elaboración Propia)

Lugar	Invierno	Verano
Efluente Talleres - Mina (2,4)	BAJO	BAJO
Efluente Planta Depuradora	ALTO	MUY ALTO
Efluente Pileta de Lodos	MUY ALTO	MUY ALTO
Efluente Frente Usina	BAJO	BAJO
Efluentes de Usina	MEDIO	ALTO

La valoración para el arroyo San José se determina en forma indirecta, considerando el impacto que ocasionará en el Río Turbio como afluente principal de éste. Se usa entonces el mismo algoritmo, y a partir del puntaje se valora el impacto usando la misma escala. En la tabla 6.13 se resume lo expresado.

Tabla 2.14 Valoración del Impacto en el arroyo (Elaboración Propia)

Lugar	Calidad	Peligrosidad	Caudal	Disposición	Intermitencia	Puntaje	Valoración
Arroyo -Descargas Indust. I	2	3	5	2	2	19	ALTO
Arroyo -Descargas Indust. V	4	3	5	2	2	25	MUY ALTO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El impacto en el arroyo San José ocasionado por los efluentes Minero industrial puede ser alto o muy alto y está determinado principalmente por los aportes provenientes de la planta Depuradora y la Central termoeléctrica. Estos aportes alteran el curso de agua, fundamentalmente en el contenido de sólidos suspendidos y metales totales recuperables tal cual se planteó en la hipótesis inicial, destacando que el contenido de metales disueltos en general están por debajo de los límites de vuelco permitidos por la ley 2.658 de la provincia de Santa Cruz por lo que se hallan presente con la fase suspendida, y en sectores de deposición de los sedimentos. Una excepción la constituye el contenido de manganeso cuyos valores disueltos fueron mayores a los límites mencionados en dicha ley.

Los valores totales recuperables obtenidos para cromo, cobre plomo y cinc de los efluentes mencionados en el párrafo anterior superan los Niveles guía de agua ambiente para riego y bebida de mamíferos (determinados en idénticas condiciones). Por lo que respecta al contenido de mercurio no se especifica niveles guía pero los valores obtenidos en los efluentes mencionados superan entre nueve a 10 veces el valor determinado para la muestra de agua del arroyo antes de los vuelcos.

A pesar que las condiciones de pH y de alcalinidad en el medio impiden la disolución de los metales presentes en los sólidos suspendidos, existe una amenaza potencial ante un cambio de condiciones en el medio, por ejemplo presencia de sustancias complejantes que formen especies solubles. Por tal motivo los efluentes mencionados quedan encuadrados en la ley 24.051 como residuos peligrosos.

Los efluentes provenientes de otros sectores de la empresa tales como mina y talleres centrales, están ocasionando un impacto comparativamente bajo frente a los mencionados dado que en la zona del vertido de ellos, coincidente con la de los efluentes poblacionales; el curso de agua presentó características determinadas por estos últimos.

Una alteración adicional proveniente de todos los efluentes mineros industriales, lo constituye el aumento de la conductividad y la presencia de sulfatos, el cual alcanza valores en el curso del arroyo que son cuatro a seis veces más alto al tomado de referencia.

De acuerdo a lo expuesto se recomienda realizar un monitoreo intensivo de los efluentes mas conflictivos y del curso del arroyo después de estos vertidos a fin de controlar la presencia de metales disueltos y a alteración de las variables que inciden en la solubilización de los aquellos en suspensión o sedimentados en el lecho del arroyo. Así mismo se hace necesario tomar medidas urgentes de tratamiento de dichos efluentes previo a los vuelcos o establecer un circuito cerrado de que permita tomar acciones de remediación y recuperación del arroyo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto acreditado por la CONEAU (Argentina) denominado “Evaluación Cuantitativa del impacto Minero Industrial del Carbón en un curso de agua. Caso del arroyo San José de Río Turbio. Santa Cruz”, el cual está radicado en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Turbio y es cofinanciado por la Empresa Yacimientos Carboníferos Río Turbio. Por tal motivo la autora, agradece a las instituciones mencionadas por la colaboración y el apoyo logístico brindado.

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.

BOLETÍN OFICIAL DEL GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ. (Febrero 2006). Parámetros de Calidad de las Descargas en Agua y Suelo: Límites Admisibles. Anexo I del Decreto N° 007 de Reglamentación a la ley 2658 de Evaluación de Impacto Ambiental.

CONESA FERNANDEZ V. (1997). “Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental”.3° Edición. Ediciones Mundi-Prensa.

CONSEJO DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. (Mayo de 1976). Directiva 76/464/CEE. De <http://www.miliarium.com/Marcos/Normas.asp>.

CONSEJO DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. (2000). Directiva Marco 2000/60. Diario Oficial DO L 327 de 22.12.2000. De <http://europa.eu/scadplus/legal/es/s15005.htm>.

CONSEJO DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. (Diciembre de 2001). Decisión 2455/2001/CE. Diario Oficial DO L 331 de 15.12.2001. Tomado de <http://europa.eu/scadplus/legal/es/s15005.htm>.

ENADIMSA. (1987). Informe sobre Hidrogeología. Yacimientos Carboníferos Río Turbio. Río Turbio. Santa Cruz.

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

LABORATORIO DE ANÁLISIS AGUA Y SUELO. UTN REGIONAL MENDOZA (2006). “Informe de Análisis de muestras de aguas”. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Unidad Académica Río Turbio.

LLAMAS, S. (2004). “Caracterización y Transporte de Desechos Peligrosos”. (Apuntes de Cátedra). Maestría en Ing. Ambiental. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

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

MILLÓN, ORELLANO, BUSCEMIL. (2005). “Curso de Hidrometras”. Capítulo II de Apuntes para el Curso de Postgrado. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.

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>

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.

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA NACIÓN. (Diciembre de 2005). Marco Conceptual para el establecimiento de Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente”. República Argentina. (6pp). Tomado de <http://www.hidricosargentina.gov.ar>

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA NACIÓN. (Diciembre de 2005). “Niveles guía Nacionales de Calidad de agua ambiente”. República Argentina. (3pp). Tomado de <http://www.hidricosargentina.gov.ar>

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA NACIÓN. (Diciembre de 2005). “Metodología para el establecimiento de Niveles Guía de Calidad de Agua Ambiente para bebida de especies de producción Animal. (8 pp.). Tomado de <http://www.hidricosargentina.gov.ar/metodología4.pdf>