

UCH-FC
Q. Ambiental
I 24
C.A



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA SOBRE LA CALIDAD DEL
AGUA DEL EMBALSE RUNGUE”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial
de los requisitos para optar al Título de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

María José Iglesias Ossorio

Director de Seminario de Título: Ing. Mesenia Atenas
Profesor Patrocinante: M. Cs. Ximena Molina

Julio de 2010
Santiago – Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

MARÍA JOSÉ IGLESIAS OSSORIO

“INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE RUNGUE”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Ing. Mesenia Atenas
Director Seminario de Título

M. Cs. Ximena Molina
Profesor Patrocinante

M. Cs. Sylvia Copaja Castillo
Corrector

Dr. David Véliz
Corrector

Firmas manuscritas de los miembros de la Comisión de Evaluación: Ing. Mesenia Atenas, M. Cs. Ximena Molina, M. Cs. Sylvia Copaja Castillo y Dr. David Véliz. Las firmas están escritas sobre líneas horizontales que sirven como guías para las firmas.



Santiago de Chile, julio de 2010

Reseña



Nací en Santiago aunque mis raíces pertenecen a las tierras de la Octava Región, lugar de procedencia de mi familia materna.

Desarrollé mi educación media en el Liceo N°1 Javiera Carrera, donde obtuve las herramientas para comenzar mi desarrollo profesional. En mis últimos años de estudio allí, descubrí que mi vocación estaba ligada al cuidado del medio ambiente, por lo que al saber de la carrera de Química Ambiental impartida por la Universidad de Chile decidí unirme a ella y aceptar el desafío. Estando en la carrera conocí gente con la que compartí sueños y anhelos, además de los conocimientos y experiencias entregadas por profesores que permitieron mi desarrollo profesional.

Mi primer aporte como estudiante de la carrera, fue mi Unidad de Investigación denominada "Fitotoxicidad de la Gramina en diferentes tipos de cultivos", la que se basó en el uso de pesticidas naturales en cultivos de cereales de uso masivo. Al momento de egresar de la carrera, la Dirección General de Aguas me permitió



desarrollar el presente Seminario de Título, cuya principal finalidad es el control de la calidad de las aguas.

En el futuro, pretendo ser un aporte en temas ambientales por medio de mi participación en proyectos que impulsen este tipo de iniciativas.





A mis padres.....

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis mayores agradecimientos a quienes hicieron posible la realización del presente seminario de título:

Al Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, por apoyar la realización de este seminario de título, en especial a Mónica Musalem Jara por sus buenos aportes y por facilitar la ayuda técnica.

Al personal de laboratorio de la DGA: Cinthya Montecinos, José Ortiz, Freddy Astudillo, por facilitar apoyo técnico en la salida a terreno al sector de Rungue y apoyo de laboratorio en los análisis de las muestras de agua.

A la profesora Sylvia Copaja por su apoyo constante y en la realización de este trabajo y durante toda mi carrera

A mi profesora guía, Ximena Molina por su colaboración en la corrección de este trabajo, sus acotaciones y consejos.

A Elisa, mi madre que aún cuando no está acá, supo entregarme los valores necesarios para mi formación y cuya valentía y amor a la vida me enseñaron a luchar por lo que quiero y a no rendirme.



A Guillermo, mi papá, gracias por entregarme tu cariño, sabiduría y apoyo incondicional.

A mi amiga de la infancia, Carolina Mora, por estar en los buenos y en los malos momentos conmigo.

A mis amigas de la universidad: Claudia, Marjorie, Glenda, Rosita y Paty, gracias por esos buenos momentos donde la risa nos hacía olvidar de todo y por los malos momentos también, ya que ayudaron a conocerlas mejor y a apreciar esta gran amistad.

A Alejandro por ser mi compañero y apoyo en ésta parte de mi vida.

A Don Juan Carlos Machuca cuya paciencia inigualable permitió que tuviera todo el material disponible durante toda mi carrera.



INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Marco teórico	4
1.1.2.- Embalses.....	4
1.1.2.1.- Sedimentos en embalses.....	5
1.1.3.- Relación entre sedimento y agua.....	6
1.1.4.- Metales en aguas superficiales.....	7
1.1.5.- Dirección General de Aguas y la Red Mínima de Control de Embalses.....	8
1.1.6.- Norma Chilena N° 1333/of.1978, "Calidad del Agua para diferentes usos".....	9
1.2.- Información del área en estudio	10
1.2.1.- Antecedentes Generales del área de estudio	10
1.2.2.- Ubicación.....	12
1.2.3.- Clima y precipitaciones.....	13
1.2.3.1.- Clima	13
1.2.3.2.- Precipitaciones	13
1.2.4.- Hidrología	15
1.2.5.- Edafología	18
1.2.6.- Geología.....	18
1.2.7.- Vegetación	19
1.2.8.- Información general del Embalse Rungue	19
1.2.7.- Actividad económica predominante en el área de estudio	21
1.3.- Descripción del problema	25
1.3.1.- Efecto del Relleno Sanitario Lomas Los Colorados sobre el embalse.....	26



1.3.2.- Efecto del Tranque de Relave Minero REFIMET sobre el embalse Rungue	28
1.3.2.1.- Antecedentes generales	28
1.3.2.3.-Estado Actual	29
1.3.3.- Efecto del Tranque de Relave Minero NOGAZ sobre el embalse Rungue	29
1.3.3.1.-Antecedentes generales	29
1.3.3.2.-Descripción de los procesos	30
1.3.3.3.-Problemas ambientales de la empresa	31
1.4.- Objetivo general	33
1.5.- Objetivos específicos.....	33
1.6.- Hipótesis de trabajo.....	33
1.7.- Metodología de trabajo.....	34
II.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
2.1.- Muestreo	36
2.1.1.- Aguas	36
2.1.2.-Sedimentos	38
2.1.3.- Variables estudiadas	40
2.1.3.1.- Variables en aguas	40
2.1.3.2.- Variables en sedimentos.....	41
2.2.-Metodología utilizada por laboratorio de DGA en muestras de agua	41
2.3.1.-Preparación de la muestra.....	46
2.3.2.-Tamizado.....	46
2.3.3.-pH y Conductividad.....	47
2.3.4.-Materia Orgánica	47
2.3.5.-Fósforo soluble	49



2.3.6.-Sales Solubles.....	51
2.3.7.-Factor de humedad.....	52
III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1.- Análisis de la calidad de las aguas del embalse Rungue según actividad antropica	55
3.1.1.- Relleno Sanitario Lomas Los Colorados	59
3.1.1.2.- Metales.....	60
3.1.1.3.- Aniones y cationes.....	62
3.1.1.4.- OD, DQO y compuesto nitrogenados.....	63
3.1.2.-Tranques de relave minero	65
3.1.2.1.- pH.....	67
3.1.2.2.- Conductividad Eléctrica	68
3.1.2.3.- Sulfatos	69
3.1.2.4.- Cobre.....	70
3.1.2.5.- Manganeseo.....	71
3.1.2.6.- Hierro.....	72
3.1.2.7.- Aluminio.....	73
3.1.2.8.- Arsénico	74
3.1.2.9.- Influencia de las precipitaciones sobre las aguas del embalse Rungue	75
3.1.3.- Análisis y caracterización de sedimentos.....	77
3.1.3.1.- Color.....	77
3.1.3.2.- Conductividad, pH y MO	79
3.1.3.3.- Aniones	80
3.1.3.4.-Cationes	82



3.1.3.5.- Relación de concentraciones entre agua y sedimento	83
IV.- DISCUSIÓN GENERAL	87
V.- CONCLUSIONES	94
VI.- SUGERENCIAS	96
6.1.- Propuesta de remediación de aguas existente	97
VII.- REFERENCIAS	100
VIII.-ANEXOS	102
ANEXO A: “Estándares de Calidad de Aguas para Distintos Usos”	103
ANEXO B: Imágenes del trabajo.....	105
ANEXO C: “Procesos asociados a la problemática”.....	110
ANEXO D: “Cálculo de parámetros en sedimentos”.....	116
ANEXO E: “Cobertura de Abastecimiento de Agua Potable”	127



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del Embalse Rungue.....	12
Figura 2: Registro de precipitaciones trimestrales del Embalse Rungue.....	14
Figura 3: Mapa de afluentes al Embalse Rungue	16
Figura 4: Registro de caudales medios diarios medidos en tres estaciones	17
Figura 5: Esquema de la Red de Canales del sistema de regadío Til- Til.....	23
Figura 6: Ubicación relativa de las actividades antrópicas de la zona.....	25
Figura 7: Instalaciones de KDM.....	26
Figura 8: Esquema de procesos del tratamiento de residuos sólidos.....	27
Figura 9: Descripción del proceso de Tostación	28
Figura 10: Procesos realizados por NOGAZ	30
Figura 11: Ubicación de los sitios de muestreo de aguas	37
Figura 12: Puntos de muestreo considerados por DGA.....	58
Figura 13: Comportamiento del pH y de la CE en las aguas del Estero Montenegro. ...	59
Figura 14: metales solubles en estero Montenegro.....	60
Figura 15: metales solubles en estero Montenegro II.....	61
Figura 16: Aniones en estero Montenegro.....	62
Figura 17: Cationes en estero Montenegro.....	62
Figura 18: OD y DQO en estero Montenegro.....	63
Figura 19: Compuestos nitrogenados en estero Montenegro.....	64
Figura 20: Ubicación de los sitios considerados para análisis de los tranques de relave	66
Figura 21: Promedio acumulado de valores de pH en distintos sitios de muestreo.....	67
Figura 22: Promedio acumulado de la Conductividad Eléctrica en distintos sitios de muestreo	68
Figura 23: Promedio acumulado de las concentraciones de Sulfatos en distintos sitios de muestreo	69
Figura 24: Promedio acumulado de las concentraciones de Cobre en distintos sitios de muestreo	70
Figura 25: Promedio acumulado de las concentraciones de Manganeso en distintos sitios de muestreo	71



Figura 26: Promedio acumulado de las concentraciones de Hierro en distintos sitios de muestreo	72
Figura 27: Promedio acumulado de Aluminio en distintos sitios de muestreo	73
Figura 28: Promedio acumulado de Arsénico en distintos sitios de muestreo	74
Figura 29: Análisis de las precipitaciones mensuales versus Conductividad	76
Figura 30: Sedimentos de cada sitio muestreado	78



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis estadístico de las precipitaciones del sector de Rungue	14
Tabla 2: Variables monitoreadas por la DGA	40
Tabla 3: Variables monitoreadas	41
Tabla 4: Métodos y técnicas para la determinación de nutrientes en muestras de aguas	41
Tabla 5: Métodos y técnicas para la determinación de microelementos en muestras de aguas	43
Tabla 6: Métodos y técnicas para la determinación de macroelementos en muestras de aguas	45
Tabla 7: Ubicación de puntos de muestreo considerados por DGA	56
Tabla 8: Registro de las estaciones de monitoreo	65
Tabla 9: Variables físicas consideradas en cada sitio muestreado	78
Tabla 10: Análisis de variables de sedimentos en los sitios de muestreo	79
Tabla 11: Análisis de aniones en sedimentos	80
Tabla 12: Análisis de cationes en sedimentos	82
Tabla 13: Comparación agua - sedimento de las variables analizadas	84
Tabla 14: Comparación agua - sedimento de las variables analizadas (2º parte).	84



Resumen

El conocimiento de las características en las propiedades fisicoquímicas de las aguas superficiales, resulta determinante al momento de evaluar la calidad de éstas y el uso al que se destine.

Debido a que no todas las aguas contienen las mismas características, es importante analizarlas con respecto a su entorno y a las normas establecidas por la autoridad.

En el presente trabajo se analizó las aguas que llegan al Embalse Rungue y que sirven como fuente hídrica a familias que desarrollan la agricultura.

Se determinó las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de diferentes muestras de agua en una zona delimitada, con el fin de establecer cuales son los sitios más afectados por fuentes antrópicas escogidas y cual es su origen. Anexo a éste análisis, se estudió el efecto ocurrido en los sedimentos de cada sector, por medio de una muestra de cada punto y de su posterior análisis.

Para estudiar el comportamiento de los datos obtenidos se realizó análisis estadístico mediante el cual se construyó curvas temporales de concentración utilizando como datos, los promedios acumulados de los parámetros en cada estación de monitoreo, aledañas a las fuentes antrópicas.

Los resultados obtenidos, demostraron que sí se encontraron residuos en las aguas y que éstos eran en su mayoría de tipo inorgánico, principalmente metales, los que provendrían de los procesos realizados por actividades mineras situadas cercanas al principal afluente del Embalse en estudio.

También se analizó las muestras tomadas de sedimentos en cada punto de muestreo y se determinó la existencia, tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos (éstos

últimos en mayor concentración), acumulados en el fondo de sistema acuático formando complejos y exponiendo a las aguas a posibles procesos de redisolución.

Como resultado final, se logró establecer que la calidad de las aguas de los sitios considerados en el muestreo de la zona en estudio, fueron afectadas por residuos de tipo inorgánicos principalmente, provocando la coloración de sus aguas y la reducción de su calidad.

Además los criterios utilizados en los procedimientos realizados para disminuir los efectos sobre las aguas de la zona resultaron ser inapropiados.

Abstract

The knowledge of the physical-chemical properties of the superficial waters turns out to be a decisive factor when it comes to the quality assessment of these waters, and their destination usage.

Because not all waters contain the same characteristics, it's important to analyze them in comparison to their environment, and the regulations established by the authorities.

In the present document, the waters that feed the Runge dam were analyzed. These waters pose as a hydric source to families that live on agriculture.

The concentrations of physical-chemical parameters of different water samples of a delimited area, were determined, with the objective of find out which are the most affected sites by chosen anthropic sources, and their origin.

Attached to this analysis, a study was performed, about the effect in each sector's sediments, based on a sample of each point, after its proper treatment.

In order to study the behavior of the obtained data, a statistical analysis was performed. Temporal curves depicting concentration were built, based in the in the accumulated average of each stations parameters. Each station is located nearby an anthropic source.

The results show inorganic remains, mainly metals, which could come from the processes performed by mining activities located near the main water supply of the Dam under study.

Sediment samples were also analyzed on each checkpoint, determining the existence of organic and inorganic components (the latter in higher concentrations), accumulated on the bottom of the aquatic system, forming complex chemical structures and exposing waters to possible re-dissolution processes

As a final result, it was established that the quality of the waters of the sites considered in the sampling, was affected by residues, mainly of inorganic type, causing water coloration and reduction of the quality of the waters.

It seems that the criteria used in the procedures to diminish the effects upon the waters turned out to be inappropriate.

I.- INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de agua en los asentamientos humanos, hace imprescindible la acumulación y conservación de éste recurso. Los volúmenes que pueden ser acumulados, generalmente están expuestos a perturbaciones externas debido a la recepción de un sin número de efluentes industriales, de aguas servidas y de aportes provenientes de actividades agrícolas, mineras, industriales y otras que deterioran su calidad (Paredes, 1998; Wetzel & Likens, 2000).

Se define como deterioro en la calidad del agua, a todo proceso que genere daño apreciable en la calidad física, química y/o biológica de sus componentes, repercutiendo en todo el medio que subsiste en ella (UNESCO, 2008).

Los compuestos que aportan al deterioro de las aguas pueden ser de dos tipos:

- Orgánicos: principalmente compuestos disueltos o dispersos en el agua derivados de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son parte de los desechos humanos y animales, de mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, de diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Su efecto principal es el consumo de oxígeno disuelto en el agua afectando la vida acuática.
- Inorgánicos: provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo como las mineras. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos principalmente metales cuyos valores de concentraciones pueden ser inadecuados para el uso de las aguas.

Comúnmente son encontrados disueltos en las aguas o precipitados en los sedimentos de los cauces o de los reservorios acuáticos, provocando cambios químicos de acuerdo al estado en el que se encuentran (disuelto o precipitado), y el tipo de cuerpo hídrico en el cual son encontrados (ríos, lagos, embalses).

Cada una de las actividades que son fuentes de deterioro de las aguas se clasifica según el tipo de fuente de descarga, presentándose de dos tipos:

- Fuentes difusas: Son aquellas que descargan contaminantes en una región extensa, los cuales no tienen un punto claro. Se pueden mencionar a las actividades agropecuarias y ganaderas, las cuales aportan esencialmente nutrientes orgánicos, compuestos de nitrogenados y fosforados; y en menor cantidad elementos alcalinos, alcalinotérreos e incluso metales tales como: hierro, manganeso, cobre y zinc, los que llegan mediante la escorrentía e incrementan las concentraciones de estos en la masa de aguas (Murgel, 1984; García y col. 2002).

- Fuentes puntuales: Son aquellas que descargan contaminantes en localizaciones específicas (Schwab y col, 1996; Ongley, 1997; Dobson & Gilpin, 1999). Destacan entre éstas las actividades industriales y en especial la actividad minera, cuyo principal efecto es contribuir al incremento de las concentraciones de minerales (Arcos, 1998; Vila y col, 1997)

La utilización de las aguas en la minería, representa uno de los mayores problemas de contaminación, debido a que su empleo en los procesos influye directamente sobre las

concentraciones de especies químicas en un ecosistema, en especial cuando se trata de metales.

Éstos metales pueden tener efectos nocivos sobre los organismos; ya que influyen en todos los niveles de organización, afectando aspectos fisiológicos relacionados con los procesos celulares; como alteraciones en la permeabilidad de la membrana plasmática e inhibiendo las funciones enzimáticas y fotosintéticas, entre otras (Paredes, 1998; Wolterbeek, H& Verburg, T. 2001; Mann y col, 2002).

Su aparición en las aguas estaría favorecido por procesos físicos y químicos tales como la erosión, oxidación de los sulfuros causantes de drenaje ácido, lixiviación, etc., que a su vez, causarían la liberación de metales presentes en la roca siendo los principales: Fe, Mn y Cu y en menor concentración metales como As, Ba, Cd, Zn, Ni y Pb, también denominados metales pesados (Sánchez, 1995).

Un caso conocido en nuestro país es lo que ocurre en el embalse Rapel, cuyas aguas reciben una carga considerable de metales pesados provenientes de la actividad minera de El Teniente. Estos aportes produjeron una masiva mortalidad de peces sumado a lo ocurrido en los últimos 16 años, donde se han observado alteraciones negativas sobre la composición y diversidad de sus especies (Vila y col, 1997; Adams y col., 2000; Vila y col 2000).

Similar a este caso, es lo observado en el embalse Rungue, ubicado al norte de la Región Metropolitana en el sector de Til-Til, cuyas aguas habrían sido afectadas por los compuestos emitidos por diversas actividades antrópicas que se desarrollan cercanas a su principal afluente.

De acuerdo a lo establecido anteriormente, este seminario de título presentará el análisis de la cuantificación de metales acumulados en las aguas y en los sedimentos del embalse Rungue, con el fin de establecer su condición actual, considerando su uso.

1.1.- Marco teórico

1.1.2.- Embalses

Los embalses son grandes estructuras civiles que son utilizadas como reguladores de volúmenes de agua disponibles en una zona determinada. Tales volúmenes varían dependiendo de la época del año, el uso de los recursos y de la fuente proveedora de agua. Sus principales aportes de agua son: las precipitaciones, aporte de afluentes (rios, canales y esteros) y procesos de escurrimiento. Las salidas del embalse vendrían dadas por escurrimiento de aguas subterráneas y por evaporación en menores cantidades (Wetzel, 2001)

Presentan volúmenes variables debido a las diferentes condiciones a los que pueden estar expuestos, originando cambios en sus variables físicas, químicas y biológicas.

Su principal uso depende de las actividades desarrolladas en el sector y de las necesidades de ésta en cuanto a volúmenes. Es así como zonas mayormente agrícolas exigirían cantidades de agua para su uso en riego, mientras que en actividades como las mineras, se utilizará en los procesos de purificación de sus productos.

Las fuentes de agua, aparte de transportar el recurso, movilizan material externo que ha sido agregado al cauce como resultado de procesos de erosión o de actividades antrópicas que eliminan sus residuos al cauce. El resultado obtenido es la disminución de la calidad de las aguas y el aumento en los niveles de sedimentos, y con esto, la pérdida prematura de almacenamiento hídrico del embalse.

1.1.2.1.- Sedimentos en embalses

Los sedimentos están constituidos por material en suspensión de variado tamaño (fino o grueso) donde los finos (de tamaño 0,063 m.m.) suelen contener gran cantidad de materia orgánica que son depositados en el fondo de los sistemas acuáticos por medio de procesos de sedimentación o floculación.

Se clasifican según el tipo de material:

- orgánico: Como microorganismos (plancton y bacterias), residuos de animales y vegetales, además del detritus del material descompuesto.
- Inorgánico como productos generados en la erosión de rocas, materiales sueltos y consolidados y por sales disueltas producto de la evaporación y reacciones químicas, tales como sulfatos, carbonatos y sílice, generados fuera o dentro del cuerpo de agua por compuestos solubles o por las acciones indirectas de los organismos acuáticos (Hakanson, 1983).

Según su procedencia pueden ser de tipo:

- Natural: Debido a la erosión causada por la corriente sobre los materiales que se encuentran en las orillas del cauce y/o por aportes aéreos desde terrenos aledaños (brumas, precipitaciones, vientos, polvos, polen, etc.)
- Antrópica: debido a líquidos externos vertidos a un cauce hídrico, afluente de un embalse hídrico causando reacciones con efectos sinérgicos o antagónicos.

La introducción de material a las aguas, se favorece por los movimientos que se producen en éstos. Tales movimientos son regidos por dos tipos de fuerzas:

- Horizontal: originada por las condiciones del flujo

- Vertical: originada por la turbulencia aunque principalmente, por efectos de la gravedad que causarían la disminución de la velocidad de transporte del sedimento (por incremento de la sección transversal).

Como resultado de éstos movimientos se obtiene el intercambio de material entre la matriz agua y sedimento, estableciéndose la estrecha relación entre los sistemas (sistemas dependientes) como se detalla en el punto siguiente (www.fao.org).

1.1.3.- Relación entre sedimento y agua

El agua y el sedimento de un sistema, se relacionan constantemente por reacciones químicas que determinan la movilidad de las especies por medio de procesos como sedimentación (reacción química que moviliza especies desde el cuerpo de agua hacia el sedimento) y redisolución (reacción química que provoca el movimiento de las especies desde el sedimentos hacia el cuerpo de agua). (Wetzel, 1975; Boyd y col.1981; Margalef, 1983; Coler & Rockwood, 1989; Avnimelech y col., 1981; Levine & Schindler, 1989)

Generalmente dependen de las características de las especies de las condiciones que entregue el sistema (pH, potencial redox y condiciones hidrodinámicas).

La alteración del pH se basa en el desplazamiento del equilibrio químico regulado por la constante del producto de solubilidad de la reacción (K_{ps}), el cual viene dado por la concentración de iones de la especie y el aporte de iones del ácido o base agregados, causando dos posibles reacciones:

- Precipitación de especies hasta el sedimento producto del alza del pH (por sobre las 8 unidades de pH).

- Solubilidad de especies debido a la presencia de bajos valores de pH (bajo 6,4 unidades de pH).

A valores neutros de pH, coexisten especies tanto precipitadas como solubles en la matriz sedimento – agua. (Ronald J., 1988)

Las condiciones redox dependen de los valores de pH y del contenido de oxígeno. Es una medida de la actividad de los electrones. Es análogo al pH ya que éste mide la actividad de protones mientras que el potencial redox mide el factor en los electrones. Estas variables se vuelven indispensables al analizar presencia de compuestos sobre los sistemas, como por ejemplo los metales, que son susceptibles a cambios en su estado en las aguas.

1.1.4.- Metales en aguas superficiales

Las aguas contienen características geológicas de la zona en cuestión, como son los iones de Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4^{-2} , CO_3^{-2} encontrados en variadas concentraciones, y los metales pesados como trazas (menor al 0,01%), necesarios para el desarrollo de la flora, fauna y para el hombre (Wittmann 1981; Carson y col., 1986; Goyer, 1986).

Los metales se introducen a los sistemas acuáticos por vías: terrestre, aérea y directa, variando su rol en función de la concentración a la que se encuentran, considerando que son necesarios en bajas concentraciones en organismos vivos, y tóxicos o riesgosos en altas concentraciones, (establecido según la Norma Chilena N° 1333/of.1978, "Calidad del Agua para diferentes usos", expuesta en Anexo B, Tabla 18) Se encuentran principalmente complejados y sus fuentes son, principalmente actividades relacionadas a la minería.

Tanto, las altas concentraciones de los metales, como la toxicidad que presentan algunos de ellos, determinan los efectos sobre cuerpos de hídricos, por lo que se han considerado 3 términos de acuerdo a la peligrosidad del compuesto en las aguas, y son:

- Elevada toxicidad: Encontrándose altamente tóxicos y relativamente disponibles metales como: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cr, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb y Bi. También el Aluminio se considera en ésta categoría pero sólo en pH menor a 5 (Wood, 1974).
- Estado molecular: Factor que determina el grado de bioasimilación y/o toxicidad (Sturmm y Morgan, 1981; Babich y Stotzky, 1983; Benes y col., 1985; Brummer, 1986; Rovira, 1993).
- Tiempo de residencia: Implica la duración del metal en el sistema. (Wangersky, 1986; Usero y col., 1997).

1.1.5.- Dirección General de Aguas y la Red Mínima de Control de Embalses

La Dirección General de Aguas (DGA) es un Organismo del Estado encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente. Además de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica, ambas con el objeto de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas (www.DGA.cl).

La red operativa de calidad de aguas superficiales de la DGA funciona desde la década del año 60 y actualmente cuenta con 351 estaciones de monitoreo (DGA, 2002). Mide variables meteorológicas, biológicas, químicas y físicas (28 variables expuestas en tabla 2), consideradas de acuerdo al área de estudio y con el fin de establecer posibles variaciones en éstas.

En el sector de Rungue se consideró establecer zonas de monitoreo debido a que en sus cercanías se encuentra el embalse Rungue, cuyo principal objetivo es proveer de agua a los agricultores de la zona. El monitoreo se llevo a cabo de forma trimestral entre los años 2002 – 2007 (de acuerdo a las posibilidades técnicas) y los sitios considerados fueron 19, escogidos con el fin de establecer la situación de la zona (Ver la tabla 7).

1.1.6.- Norma Chilena N° 1333/of.1978, " Calidad del Agua para diferentes usos"

Tiene como principal objetivo proteger y preservar la calidad de las aguas de los posibles efectos causados por la degradación de compuestos de variado fuentes. Fija criterios de calidad para el agua de acuerdo a requerimientos científicos, referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado, es decir, aguas destinadas para el desarrollo de vida acuática, para riego, para bebida de animales y recreación.

La importancia de contar con una buena calidad de las aguas, radica en otorgar condiciones favorables para su utilización por medio de la intervención de normas establecidas que contienen estándares de calidad determinados (como por ejemplo la

N.Ch. N° 1333/of.78 “Calidad del agua para diferentes usos”, decretada por el MOP y utilizada en el presente trabajo). Considera variables como: pH, concentración de iones, cationes, metales, medidos y analizados en aguas afectadas por el deterioro producido por procesos naturales y/o por actividades humanas (Vila, y col, 1996; OECD-CEPAL, 2005).

Las concentraciones exigidas para cada variable se encuentran disponibles en el Anexo A, Tabla 15 donde los valores máximos de las concentraciones son expuestos de acuerdo a las variables consideradas.

1.2.- Información del área en estudio

La zona analizada en este seminario de título comprende a puntos situados estratégicamente cercanos al embalse Rungue debido a que la finalidad de éste estudio es el análisis de la calidad de sus aguas para evaluar su aptitud en la actividad agrícola desarrollada en la zona de Til Til (ubicado al sur de Rungue)

Para esto se consideraron mediciones en zonas cercanas a actividades antrópicas para lograr establecer los posibles efectos sobre los afluentes del embalse.

1.2.1.- Antecedentes Generales del área de estudio

El embalse Rungue fue diseñado en 1959 con el fin de abastecer de volúmenes de agua de forma constante a las actividades que se desarrollan en la zona. Diseñado y construido por la Dirección de Obras y con comienzo de operaciones en 1965 (Fuente, MOP 1994).

El desarrollo de actividades agrícolas en la zona (Rungue y Til Til) impulsó a su creación debido a prolongados periodos de sequía que complicaban a los agricultores y a su actividad económica. Posterior a su creación los agricultores formaron una asociación que regulaba las cantidades que recibía cada familia (Asociación de canalistas de Rungue).

Tiempo después, se instaló un tranque de relave en la zona, aproximadamente a 200 metros del Estero Runge (principal afluente del embalse Rungue), que comenzó a realizar procesos de purificación de material residual proveniente de la División Las Rosas del Teniente. El proceso generaba grandes cantidades de residuos líquidos los cuales eran acumulados en piscinas almacenadoras de material.

Anexa a esta actividad productiva, se instaló el relleno sanitario Lomas Los Colorados a 11 kilómetros del embalse Rungue, empresa que desarrolla soluciones al tema de la basura, disminuyéndolo sus volúmenes procesándola y posteriormente confinando los residuos que ya no siguen siendo tratados (se acumulan en grandes reservorios de material).

Ambas actividades produjeron situaciones de emergencia ambiental debido a residuos vertidos al cauce del principal afluente del embalse generando preocupación por parte de las autoridades por los hechos.

A causa de éstas situaciones, se dispuso de un monitoreo de aguas por parte del gobierno de la época desarrollado por la DGA, con el fin de establecer un monitoreo constante de las variables y evaluar si aún existe repercusión sobre la calidad de las aguas del embalse.

1.2.2.- Ubicación

El Embalse Rungue se localiza en los $33^{\circ}01'11.85''$ de latitud sur $70^{\circ}54'28.40''$ de longitud oeste y a una altura de 706 m.s.n.m.

Se emplaza en la Región Metropolitana, provincia de Chacabuco, comuna de Til -Til en la localidad de Rungue a 54 kilómetros al norte de Santiago con acceso por la Ruta 5 Norte (Figura 1).

El poblado más próximo es Montenegro, distanciado de Rungue por 2 kilómetros al Norte del embalse.

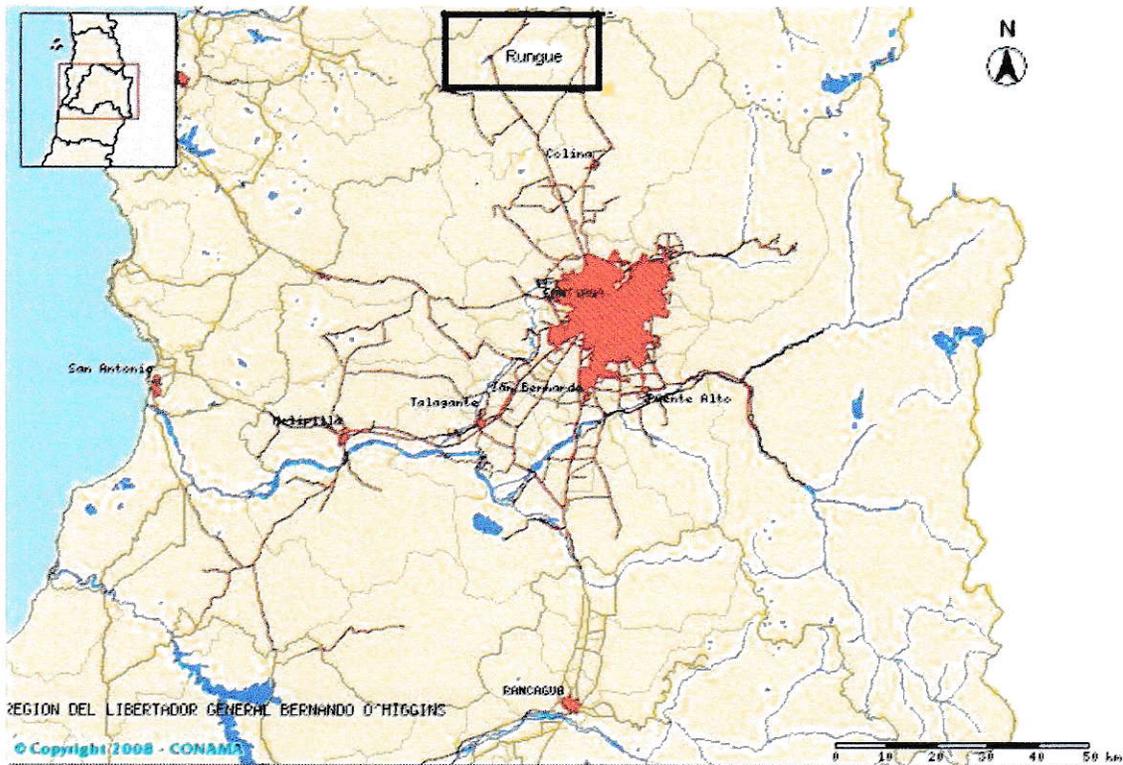


Figura 1: Ubicación geográfica del Embalse Rungue (Sinia, 2008).

1.2.3.- Clima y precipitaciones

1.2.3.1.- Clima

El clima predominante en la zona es templado cálido con un invierno marcado por temperaturas extremas y estación seca prolongada (7 a 8 meses de sequía), siendo los meses de Diciembre y Enero los que registran las más altas temperaturas y Junio y Julio las más bajas. La temperatura media anual se aproxima a los 14° C en toda la zona.

La zona en estudio, tiene la característica de estar rodeado de cerros lo que potenciaría la formación de un microclima que aumentaría la sensación térmica del lugar.

1.2.3.2.- Precipitaciones

Las precipitaciones la zona influyen directamente en la aparición de material externo sobre el cauce de esteros y ríos. Produce el movimiento de material de todo tipo, generados en zonas aledañas a los efluentes, por medio del escurrimiento que ocurre en zonas con pendiente en sus terrenos.

La figura 2 representa los registros de precipitaciones del período 2002 – 2007 los que serán utilizados para representar una aproximación de lo que ocurre en la zona de Rungue. Son registros trimestrales y fueron tomados por personal de la DGA en la estación pluviométrica Embalse Rungue.

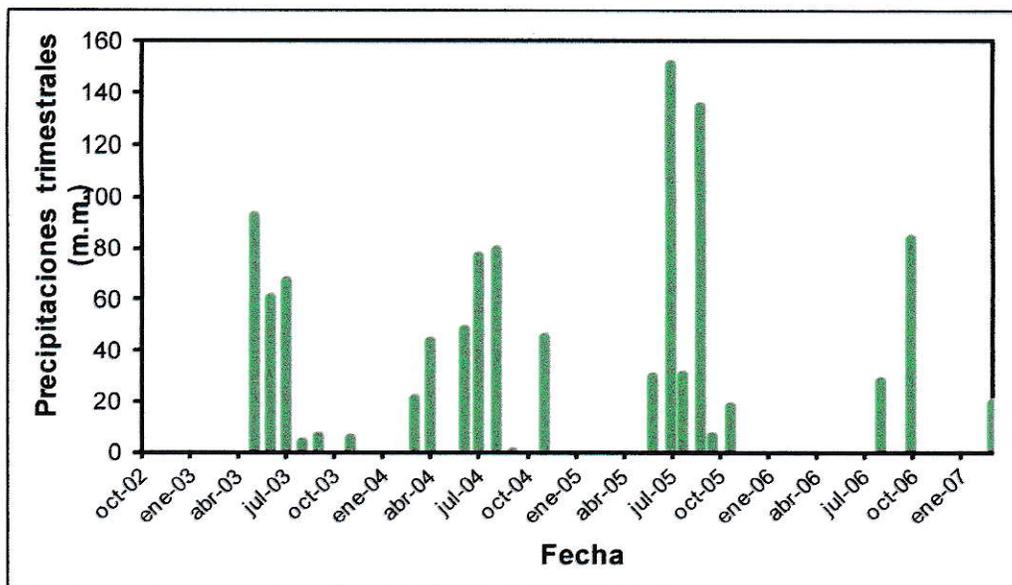


Figura 2: Registro de precipitaciones trimestrales del Embalse Rungue (DGA, 2008)

La figura 2 exhibe que la mayor pluviosidad se concentra en invierno, mientras que en meses estivales disminuye incluso llegando a periodos con nula pluviosidad (ejemplo: Enero 2003, Enero 2004). La información graficada y procesada se integra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1: Análisis estadístico de las precipitaciones del sector de Rungue

Año	Total Anual (m.m.)	Promedio Anual (m.m.)	Mínimo anual (m.m.)	Máximo anual (m.m.)
2003	238,60	21,69	0,00	92,80
2004	340,50	34,05	0,00	79,50
2005	402,10	57,44	3,00	151,00
2006	113,40	22,68	0,00	84,00

En la tabla 1 se exponen los máximos obtenidos por año, el promedio de las precipitaciones trimestrales por año y los mínimos y máximos en un año.

Se pueden apreciar marcadas fluctuaciones de un año a otro, (con respecto a los totales anuales de precipitaciones). Esto se produciría por fenómenos climáticos manifestados previos a los años de análisis, que afectarían los primeros años de registro.

Aún cuando los datos no podrían representar la conducta pluvial del sector, sirvieron para analizar las variaciones de concentraciones de las variables en estudio (capítulo 3.1.2.9).

1.2.4.- Hidrología

El sector en estudio se encuentra emplazado en lo que se considera la última sección de la Cuenca del Maipo.

Los volúmenes hídricos que son aportados al Embalse Rungue corresponderían a precipitaciones esporádicas, contribuciones subterráneas y a aportes generados por esteros y ríos que confluyen al embalse.

El afluente superficial principal con que cuenta el embalse es el estero Rungue, el cual es la prolongación del Estero Montenegro.

El resto de los afluentes que componen la cuenca, en su mayoría, representan aportes hídricos menores (figura 3) y son los siguientes:

- Estero El Manzano
- Estero Caleu (su brazo izquierdo converge en el Embalse Rungue)
- Estero El Peñón.

Conociendo los afluentes con que cuenta el embalse, es de importancia establecer los caudales que se registran. Para esto, se consideró información entregada por DGA, encontrándose información de 3 afluentes durante el periodo 2002-2004. Tales registros no logran establecer el comportamiento de cada afluente, pero sí logran dar a conocer el volumen que aportan.

Las mediciones fueron realizadas ocasionalmente y los puntos considerados son:

- Estero Montenegro Antes de ruta 5
- Estero El Manzano antes del tranque de relave NOGAZ
- Estero El Manzano en fábrica de cerámicas Batuco

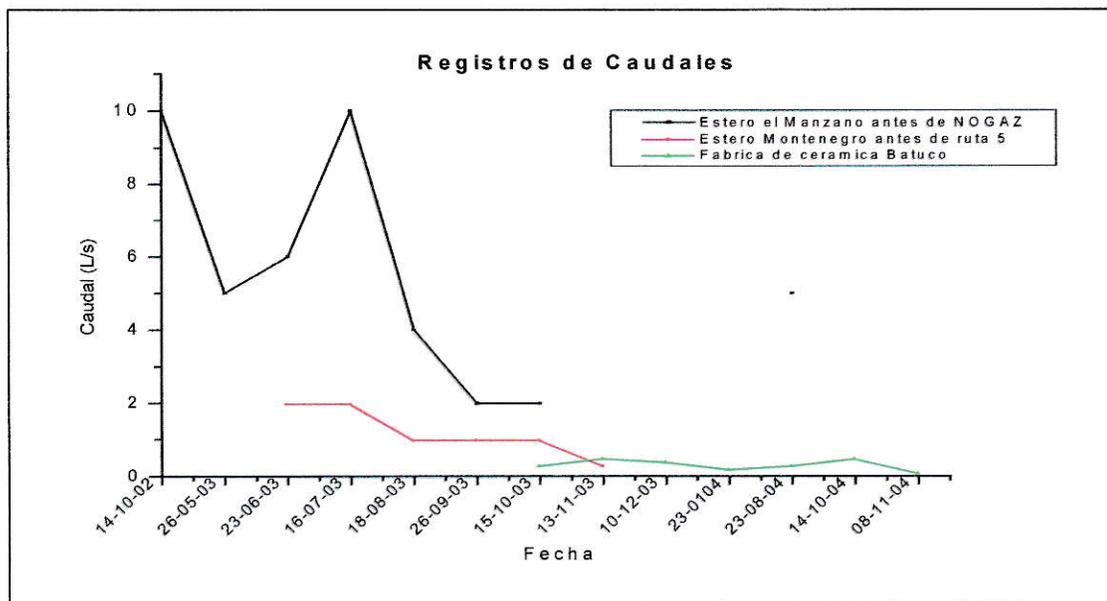


Figura 4: Registro de caudales medios diarios medidos en tres estaciones

El caudal que se observa en la zona del estero El Manzano supera los 5 L/s llegando a registros máximos en periodo invernal (10 L/s).

El estero Montenegro presenta caudales máximos de 2 L/s aún cuando tiene influencia directa sobre el estero Rungue.

1.2.5.- Edafología

El suelo en el sector del Embalse Rungue esta definido como arcilloso de origen aluvio-coluvial (www.mop.cl). Su textura es moderadamente fina franco arcillosa (muy arcillosa a arcillo arenosa), con permeabilidad: media–baja y escorrentía: media– alta. Lo anterior establece que no es un suelo que permita con facilidad procesos como lixiviación o percolación pero sí movimientos de material (www.sinia.cl).

1.2.6.- Geología

El sector donde se emplaza el embalse Runue está constituido exclusivamente por intrusivos de Edad Cretácico Superior del tipo Granodiorita, éstas rocas intruyen a nivel regional a rocal del tipo sedimentarias

Específicamente se trata de granodioritas grises medianas de textura fanerítica integradas por una asociación mineral totalmente cristalina en base a curazo, feldespatos y algo de mica.

Por sectores la roca presenta diferente comportamiento mecánico de acuerdo con el grado de meteorización que la afecta. Las variaciones van desde rocas muy duras tenaces resistentes y homogéneas en el sector sur del embalse a granodioritas muy alteradas y meteorizadas en el sector norte del embalse.

1.2.7.- Vegetación

Se observan dos tipos de zonas biogeográficas predominantes:

- Vertiente sur del cordón de Chacabuco y los valles situados en la parte norte:

Se desarrolla el bosque espinoso ralo, que está conformado por arbustos altos y espinosos. Entre las especies dominantes se encuentran el Espino, el Algarrobo, el Huañil, el Maitén, el Sauce Amargo y la Ñipa.

- Sector precordillerano: Se presenta el bosque esclerófilo precordillerano que se desarrolla en las pendientes de las laderas cordilleranas ubicadas a media y a baja altura. Entre las especies características arbóreas se encuentran el Litre, el Quillay, el Colliguay, el Peumo, la Quila, el Coironcillo, el Maqui, entre otros.

1.2.8.-Información general del Embalse Rungue

Su construcción cuenta con las siguientes instalaciones:

- Embalse

Capacidad de embalse (al nivel de aguas normales): 2.014.473 m³

Superficie máxima del lago: 48 has.

Longitud máxima del lago: 2 Km

- Presa

Altura máxima: 19 m

Longitud coronamiento: 160 m

Ancho coronamiento:	7 m
Cota coronamiento sobre nivel del mar:	701,54 m
Ancho basal máximo:	101 m
Talud aguas arriba:	1:3
Talud aguas abajo:	1:2.5
Volumen de tierra:	95.000 m ³
Longitud del muro auxiliar:	620 m
Ancho del muro auxiliar:	6 m

- Obra de toma y entrega: Compuesta por dos válvulas de espejo de 0,40 metros de diámetro, instaladas en serie, a la salida de una tubería de acero de igual diámetro que atraviesa el muro a la cota 691 metros sobre el nivel del mar de diámetro de longitud de tubería de conducción 120 metros.
- Vertedero de rebalse: Compuesta por 2 vertederos
 - a) Vertedero original, del tipo lateral, con descarga máxima aproximada de 205 m³/s.
 - b) Vertedero auxiliar de capacidad de 215 m³/s.
- Muro de defensa del ferrocarril: Debido a que la línea férrea se ubica aproximadamente a 800 metros aguas abajo de la estación Rungue, a un nivel inferior al de las aguas máximas del embalse, fue necesario construir un muro de defensa que cerró la zona de inundación, a la misma cota de coronamiento de la presa.

Longitud Coronamiento	: 600.0m
Talud Aguas Arriba	: 1(V):1.0 (H)
Talud Aguas Abajo	: 1(V):1.0 (H)
Volumen del Muro	: 35.800 m ³

1.2.7.- Actividad económica predominante en el área de estudio

Las actividades desarrolladas en la zona posterior a la creación y construcción del embalse Rungue son:

- Agricultura del tipo seco
- Relleno Sanitario Lomas Los Colorados
- Tranque de relave minero REFIMET
- Tranque de relave minero NOGAZ
- Fábrica de cerámicas Batuco

Agricultura

La agricultura de la zona es del tipo seco, caracterizándose por tener cultivos como: olivos, tunas y hortalizas de temporada.

Este tipo de agricultura se desarrolla en la zona por las buenas características climáticas que presenta siendo la principal fuente de ingresos de ciertos de familias que viven en el sector.

La zona de riego cubierta por el Embalse Rungue consta de 700 hectáreas de terreno agrícola aproximadamente, repartidas en 566 acciones de riego pertenecientes a 196

familias de regantes. La red de canales de riego asociadas al embalse, se presenta en la figura 5.

Relleno Sanitario Lomas los Colorados

El relleno sanitario Lomas Los Colorados es otra actividad que se lleva a cabo en la cuenca. Se sitúa en la comuna de Montenegro a 11 kilómetros aproximadamente del embalse Rungue.

Tiene por finalidad tratar y confinar los residuos domiciliarios de 20 comunas del Región Metropolitana.

El detalle de los procesos realizados se encuentra en el anexo C.

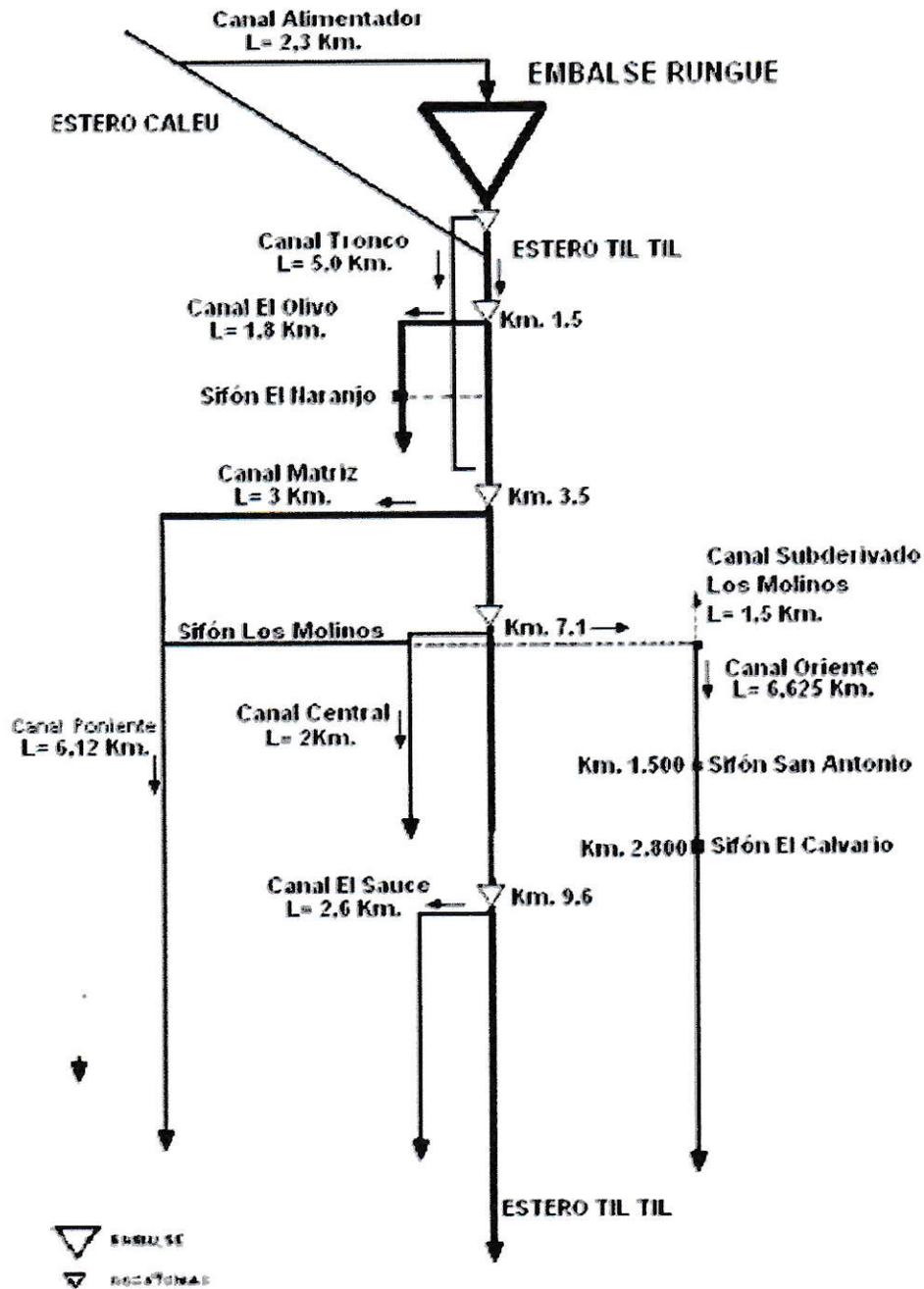


Figura 5: Esquema de la Red de Canales del sistema de regadío Til- Til.

Tranque de relave minero REFIMET

Empresa cuya principal finalidad era la de procesar residuos mineros, con el fin de obtener arsénico, el cual sería posteriormente comercializado a empresas con competencia en el tema.

En la actualidad, la empresa mantiene el cierre de sus obras y sus instalaciones aún permanecen con maquinarias utilizadas.

Tranque de relave minero NOGAZ

Empresa que procesó material proveniente de la planta de tratamiento de aguas Las Rozas, desde donde se procedía a obtener cobre, el cual era vendido a empresas dedicadas al rubro.

Las actividades se llevaron a cabo hasta el año 1985, fecha desde la cual se encuentra el sitio sin el adecuado cierre de obras. En la actualidad una parte del sitio es arrendado por la empresa de cerámicas Batuco. El resto aún contiene los residuos de los procesos realizados allí, se encuentran contenidos en piscinas de decantación cubiertas de forma deficiente, provocando escurrimiento del contenido (en periodos de altas precipitaciones), cuyo destino final es el cauce del estero Rungue.

Cerámicas Batuco

Fábrica dedicada al procesamiento de materias primas, con el fin de la elaboración de cerámicas, para su posterior comercialización.

Se asentó en lo que eran las antiguas instalaciones del traque de relave NOGAZ, utilizando la porción superior del terreno.

La situación actual de la fábrica se desconoce

1.3.- Descripción del problema

Las aguas del embalse Rungue y de su afluente principal han visto afectadas sus propiedades fisicoquímicas por el desarrollo de actividades antrópicas desarrolladas en la zona en estudio y que son:

- Relleno sanitario Lomas Los Colorados
- Tranque de relave minero REFIMET
- Tranque de relave minero NOGAZ

La ubicación relativa a las que se encuentran cada una de estas fuentes se logra observar en la figura 6, siendo esta característica de importancia en el estudio de la influencia directa sobre el embalse

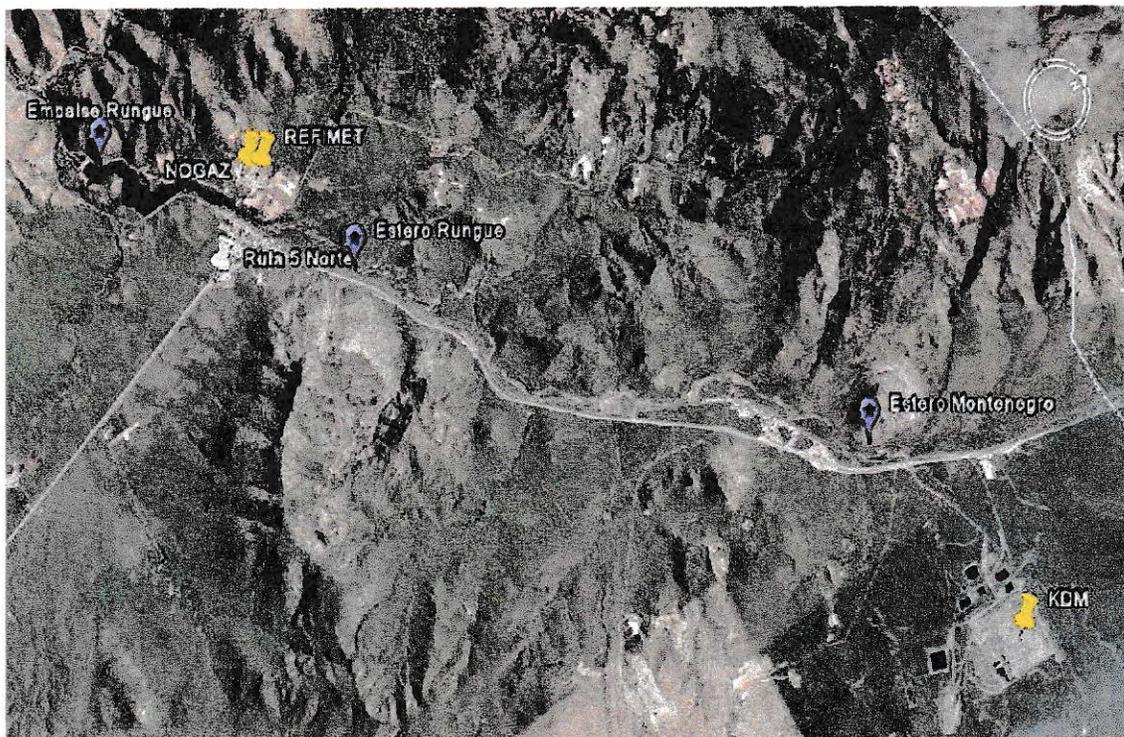


Figura 6: Ubicación relativa de las actividades antrópicas de la zona (Google Earth, 2008).

1.3.1.- Efecto del Relleno Sanitario Lomas Los Colorados sobre el embalse

Fue construido el año 1995 en una área semi-desértica y con tipo de suelo mayormente arcilloso.

Se ubica a 60 kilómetros al norte de Santiago en la comuna de Til- Til, a 2.6 kilómetros del poblado más cercano que es Montenegro y a 8 km. aproximadamente del Embalse Rungue, siendo todos, parte de la misma cuenca. Ocupa un área de 800 hectáreas, de las cuales 220 están destinadas a la disposición de residuos sólidos urbanos y 20 corresponden a obras perimetrales que sirven de apoyo al relleno sanitario como se puede observar en la figura 7. El relleno sanitario tiene la capacidad de recibir diariamente cuatro mil toneladas de residuos domésticos (KDM, 2002).

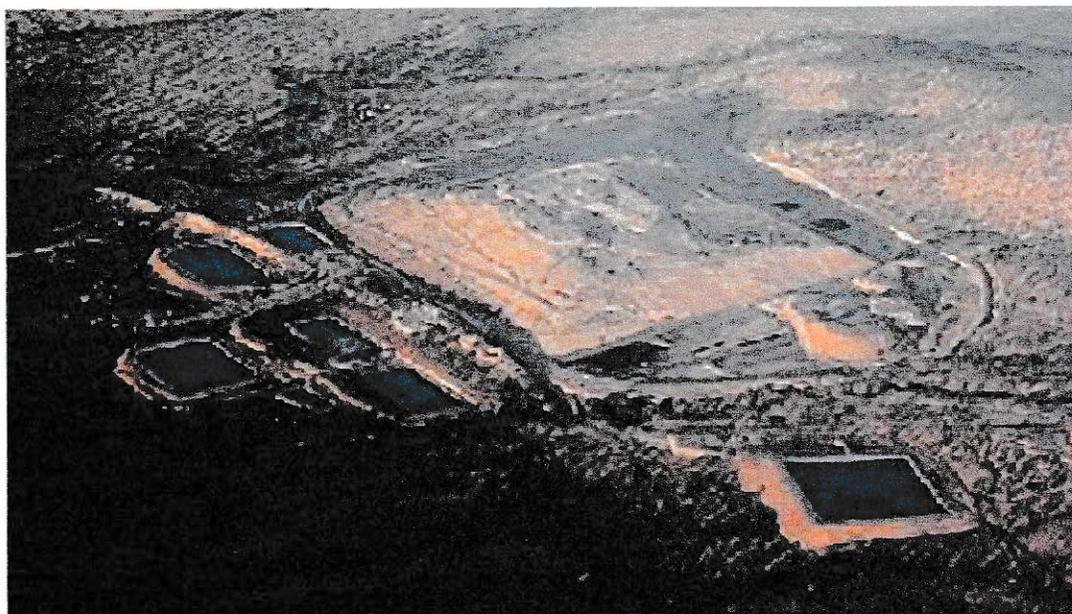


Figura 7: Instalaciones de KDM (KDM, 2008)

Sus dependencias cuentan con zonas asignadas y diseñadas para los procesos que allí se llevan a cabo, siendo las principales:

- Tratamiento de Residuos Sólidos
- Planta de tratamiento de lixiviados
- Planta de tratamiento de Lodos

La figura 8 representa un resumen de los procesos realizados en el relleno sanitario el cual es complementado en el Anexo C donde se describe cada uno de sus procesos

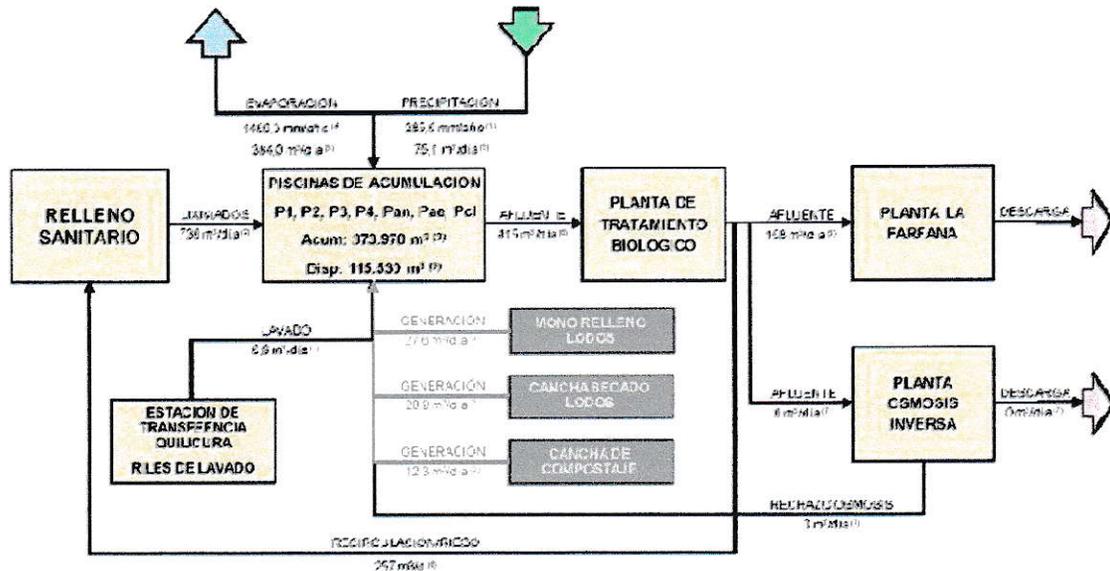


Figura 8: Esquema de procesos de tratamiento de residuos sólidos (www.kdm.cl)

Emergencia ambiental de la empresa

A fines del año 2002 el estero Montenegro presentó una situación denominada como emergencia ambiental en la cual se observó presencia de líquidos que coloreaban las aguas. El análisis de muestras obtenidas en la zona logró establecer que tales líquidos provenían de una de las piscinas de acopio de material percolado del relleno sanitario Lomas Los Colorados. La fisura de la capa cobradora de una de las piscinas, produjo el derrame de líquidos percolados hacia capas inferiores del suelo y sobre el estero, cuyos efectos se observaron hasta una distancia de 3 km a lo largo de su cauce (Conama, 2002)

El evento ocurrió en Diciembre del año 2002 y su remediación se llevó a cabo durante 3 meses (hasta Febrero del 2003) tras lo cual las autoridades sanitarias, (SESMA y CONAMARM) monitorearon el sector para supervisar que se llevaran a cabo las medidas de remediación.

Posterior a este hecho la empresa no volvió a registrar situaciones que comprometieran daño ambiental.

1.3.2.- Efecto del Tranque de Relave Minero REFIMET sobre el embalse Rungue

1.3.2.1.- Antecedentes generales

REFIMET es una empresa que se dedicaba a la investigación, construcción y desarrollo en la refinación de productos y subproductos provenientes de procesos mineros. Se creó el año 1981 en el pueblo de Rungue donde inició sus operaciones en un área de 80.000m² a un costado del tranque de relave NOGAZ y a 200 metros aproximadamente del Estero Rungue. Paralizó su operación a fines del año 1993.

En los últimos años de funcionamiento la empresa se trataba concentrados provenientes de la Compañía Minera El Indio (IV) Región con el fin de obtener arsénico que posteriormente sería comercializado. El proceso se describe en la Figura 9.

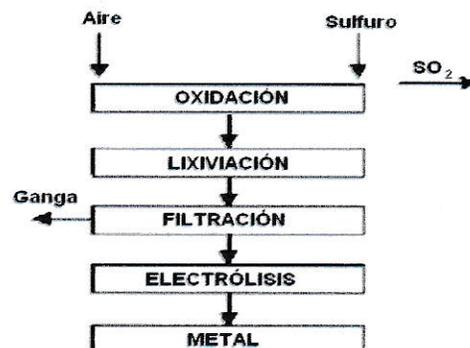


Figura 9: Descripción del proceso de Tostación (CONAMA, 2002)

1.3.2.3.-Estado Actual

En la actualidad el terreno se encuentra en estado de abandono, conteniendo aún las cuatro piscinas con material residual y recubiertas con revestimiento impermeabilizante.

Un informe de CONAMA del año 2002, advirtió la presencia de una quinta piscina de contención con una cantidad de material menor a las demás y sin el revestimiento necesario. Tras esto SERNAGEOMIN contactó a la empresa para llevar a cabo el cierre adecuado de ésta piscina.

1.3.3.- Efecto del Tranque de Relave Minero NOGAZ sobre el embalse Rungue

1.3.3.1.-Antecedentes generales

NOGAZ empresa dedicada a tratar el material procedente de la División El Teniente de CODELCO CHILE, particularmente de la planta de purificación de aguas Las Rozas.

Se ubica a un costado del pueblo de Rungue a 300 metros del estero con el mismo nombre en el sector de Quebrada El Manzano, cubriendo un área aproximada de 160.000m² (Anexo B, Figura 36)

Sus procesos se desarrollaron entre los años 1975 y Marzo de 1985, año en que cesaron sus actividades sin el correspondiente cierre de obras.

Para llevar a cabo sus procesos se disponía de:

- 1 depósito de residuos sólidos de un volumen superior a 150.000 m³.ubicado a un extremo del tranque.

- 9 piscinas de evaporación dispuestas en forma escalonada y ubicadas principalmente en la pendiente que baja hacia el estero Rungue aún cuando también toman parte de la quebrada El Manzano.
- 1 horno de cubilote, con refrigeración por partes de agua para fundir los sinters (caliza formada por precipitación de sales de calcio de cobre a blíster (material metálico con nivel de pureza del 99,5%).

Los procesos que se llevaban a cabo tanto para purificar las aguas residuales como para recuperar remanentes de cobre se detallan a continuación.

1.3.3.2.-Descripción de los procesos

La figura 10 presenta el proceso realizado en el tranque de relave minero el que es complementado en el Anexo C.

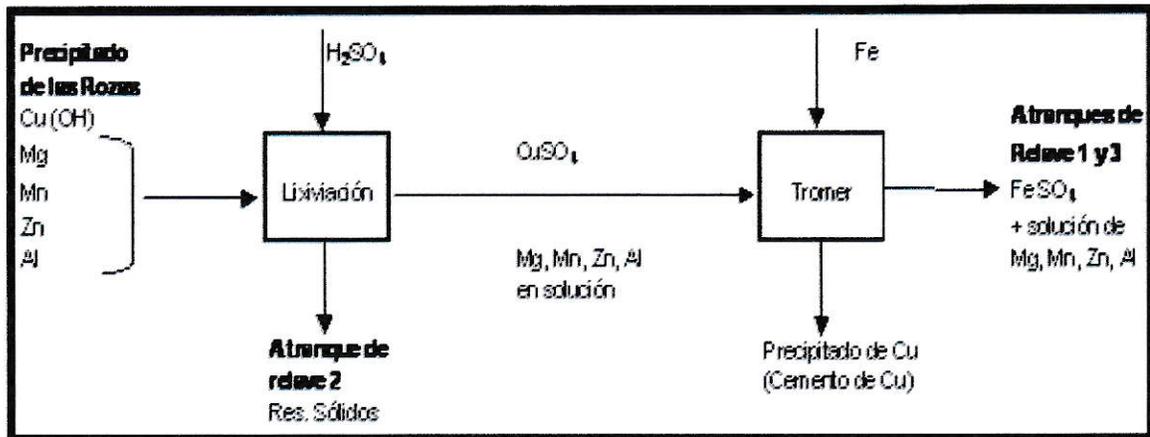


Figura 10: Procesos realizados por NOGAZ (CONAMA, 2002)

1.3.3.3.-Problemas ambientales de la empresa

El 3 de Marzo del año 1985 se produjo un derrame de residuos líquidos provenientes de la empresa NOGAZ causado por un fuerte sismo que afectó la zona central del país.

Se produjeron fisuras en la cubierta plástica basal de las piscinas evaporadoras de aguas claras de relave, produciendo la infiltración de su contenido líquido (volumen aprox. 100.000m³) en el subsuelo del tranque (Informe CONAMA, 2002).

El pH ácido al cual se encontraban los residuos en el traque de relave permitieron que los metales se encontraran solubles por lo que su transporte sería aún más fácil y rápido, además, el material particulado contenido en los residuos líquidos que no alcanzó a llegar al estero Rungue, quedó depositado en el fondo rocoso ubicado bajo las piscinas de decantación, siendo removido de forma natural por escurrimiento producido en periodos de lluvia.

Tras ocurrido el incidente NOGAZ detuvo todos los procesos productivos y adoptó medidas de mitigación en la zona afectada en conjunto con el SAG, Dirección de Recursos Naturales Renovables (DIPROREN) los que fueron informados por la empresa y corresponden a:

- Remoción del material de los depósitos dañados e impermeabilización del tranque.
- Encapsulamiento de material en nuevas piscinas construidas con impermeabilizantes de alta densidad.
- Retiro de material por medio de maquinaria especializada, logrando extraer la mayor cantidad de sedimentos posibles desde el fondo del embalse y así disminuirla concentración de especies que causar cambios en la calidad del embalse.

- Limpieza de la zona y neutralización de las aguas por medio de la variación de pH utilizando para esto sales de calcio adicionada con periodicidad 2 veces al día en periodo estival en la zona de la quebrada El Manzano. Debido a que el potencial generador de acidez de los residuos era mayor a la capacidad de neutralización producida por la dosis de Cal se propuso la construcción temporal de un sistema de pretilas que actuarían como almacenador y regulador del pH causando la precipitación de contaminantes y su posterior extracción, de lo que sólo se da cuenta de la existencia de la aplicación de sales de calcio en sectores aledaños al embalse.

1.4.- Objetivo general

Analizar variaciones espacio -temporal de la calidad de las aguas del Embalse Rungue, para determinar la influencia de las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona.

1.5.- Objetivos específicos

- Evaluar la aptitud del agua del Embalse Rungue considerando que su uso se destina para riego.
- Realizar análisis espacio -temporal de variables documentadas en el período 2002 - 2008
- Complementar el análisis anterior, con análisis de muestras de sedimentos obtenidas superficialmente en los puntos con mayor relevancia cercanos al embalse Rungue.
- Identificar cuál de las actividades antrópicas analizadas en este estudio es la que principalmente podría influir en la calidad de las aguas del embalse Rungue.
- Relacionar la calidad de las aguas superficiales del Embalse Rungue con los residuos generados por las actividades mineras y/o sanitarias que se desarrollan en zonas aledañas.

1.6.- Hipótesis de trabajo

La liberación de compuestos químicos por residuos generados por actividades antrópicas, en la cuenca donde se localiza el Embalse Rungue, provocarían cambios en la calidad de las aguas, afectando la aptitud de su uso.

1.7.- Metodología de trabajo

Para alcanzar el primero objetivo parcial se contó con datos recopilados por la Dirección General de Aguas entre los años 2002 y 2008, que considera la medición de parámetros físicos y químicos de las aguas superficiales de la zona mencionados posteriormente.

Además se realizó una campaña de muestreo donde se procedió a la observación de la zona, entrevistas con lugareños y recolección de muestras de aguas y sedimentos para ser posteriormente analizados complementando el estudio del lugar.

El segundo y tercer objetivo fueron logrados una vez realizados los análisis anteriormente mencionados, de esta forma se estableció tanto los sitios donde se encontraban las mayores concentraciones de parámetros como las distancias a las que se encontraban tales fuentes. Asimismo, con la información entregada de los tipos de residuos de las fuentes en cuestión, se comparó con los encontrados en las aguas superficiales contiguas a la actividad, previamente confirmada la ausencia de otras fuentes.

El último objetivo fue ejecutado teniendo en consideración la Norma Chilena N° 1333/of.1978, "Calidad del Agua para diferentes usos", por medio de la cual, y considerando los datos de parámetros fisicoquímicos en la zona, se estableció la existencia de situaciones en las que no se cumplió esta norma.

II.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para la Campaña 2008, el día 23 de Diciembre del mismo año, se realizó la visita al Embalse Rungue y a sus alrededores para constatar la situación actual de las aguas.

Se observó lo siguiente:

- Los tranques de relave que son indicados como posibles fuentes emisoras de material residual, continúan desocupados e inactivos.
- Las aguas del Estero Rungue se observan, al igual que en visitas anteriores (hechas por personal de CONAMA 2002), con presencia de coloraciones rojizas y azuladas en las orillas.
- Las aguas quietas del Estero El Manzano son utilizadas por lugareños como bebida para animales.
- La designación de los sitios, elegidos previamente por personal del Laboratorio de la DGA con el fin de muestrear aguas entre los años 2002 – 2007, fueron validados con el muestreo del año 2008 debido a que son representativos de la zona en cuestión y del análisis requerido. Debido a que se localizan en zonas de importancia para este análisis fueron consideradas en este trabajo.

2.1.- Muestreo

2.1.1.- Aguas

La finalidad del muestreo radicó en complementar el monitoreo histórico del embalse (realizado entre los años 2002 - 2007 año en que se terminó de monitorear las variables del embalse Rungue) con las condiciones actuales de las variables medidas (muestreo 2008), y evaluar si las fuentes antrópicas están afectando las aguas del embalse.

Para su realización se muestreó en 7 lugares distintos cercanos al embalse. El criterio utilizado para elegir los sitios fue por accesibilidad a los puntos de muestreo, proximidad a las zonas afectadas y a la validación de los datos anteriores para designarlos como representativos de la zona.

Los sitios de muestreo elegidos fueron:

- Puente Rungue (A)
- Estero El Manzano antes de confluencia estero Rungue(B)
- Estero Rungue (C)
- Embalse Rungue (D)
- Salida de válvula del Embalse Rungue (E)
- Estero El Manzano aguas arriba instalaciones NOGAZ (F)
- APR Rungue (G)

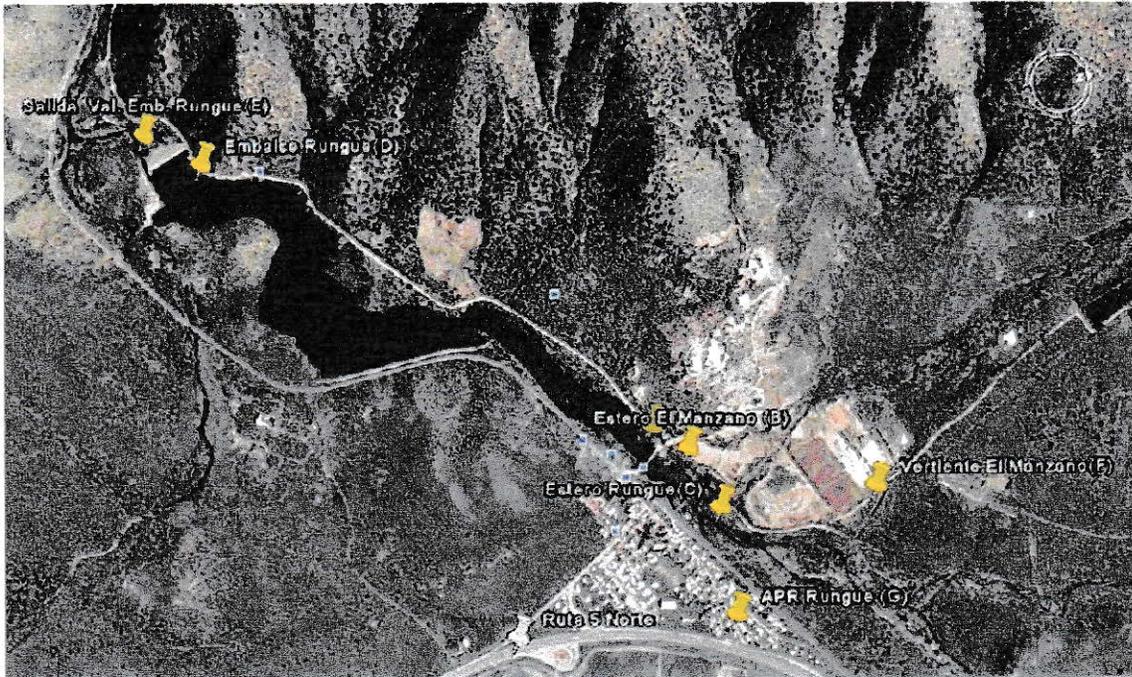


Figura 11: Ubicación de los sitios de muestreo de aguas (Google Earth, 2008)

Las muestras fueron tomadas por personal calificado del laboratorio de la DGA y según técnicas de muestreo establecidas en:

- Norma Chilena Oficial NCh 411/2 Of. 96, Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
- NCh 411/3 Of. 96, Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras
- N.Ch. 411/10 Of. 97, Calidad del agua - Muestreo - Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales oficiales.

De los sitios considerados se obtuvieron 6 muestras de aguas superficiales y 1 de aguas subterráneas, las que fueron contenidas en frascos plásticos de 250 mL aproximadamente, previamente lavados y enjuagados con agua desionizada. Se

incluyó preservantes en algunos de ellos para evitar procesos de descomposición (ejemplo para medir: nitritos nitratos). Los frascos fueron depositados posterior a su cierre hermético en un contenedor frío (cooler) durante toda la duración del muestreo.

Se determinó *In situ* las variables a continuación presentadas por medio de una Sonda Multiparamétrica Modelo MS5 marca Hidrolab, previamente calibrada (Propiedad del Laboratorio de la DGA),:

- Conductividad por medio de un conductivímetro
- pH por medio de un electrodo de vidrio
- Turbiedad por medio de sensor de turbiedad
- Temperatura por medio del sensor de temperaturas.

El beneficio de conocer las variables *in situ* permite registrar las condiciones del muestreo y verificar posteriormente si estas cambiaron al momento de los análisis.

El resto de las variables se determinaron con las muestras obtenidas en el área de estudio y analizadas en el laboratorio de la DGA por medio de la metodología expuesta en el capítulo 2.2.

2.1.2.-Sedimentos

La finalidad de este muestreo se basó en la necesidad de conocer el estado de los sedimentos de cada sitio, teniendo en cuenta su cercanía al embalse y su relevancia en el estudio de cada fuente antrópica considerada en el trabajo.

Cada sitio elegido coincidió con las muestras de agua, con el fin de establecer la comparación entre las variables de agua y sedimento.

Los sitios muestreados son coincidentes con los puntos considerados para aguas a excepción del punto en agua potable rural Rungue (que no contiene muestras de sedimentos):

- Puente Rungue (A)
- Estero El Manzano (B)
- Estero Rungue (C)
- Embalse Rungue (D)
- Salida de válvula del Embalse Rungue (E)
- Vertiente (F)

La ubicación geográfica de los sitios de muestreo se presenta en la figura 12

El muestreo se realizó con los siguientes materiales para mejorar la mantención y protección de las muestras:

- 2 contenedores aislados térmicamente para mantener las muestras a bajas temperaturas ("Cooler").
- 24 frascos plásticos con capacidad de 0,5 mL. previamente acondicionados.
- Muestreador de sedimentos "Core" (tubo de PVC de 5cm de diámetro con tapa).

En cada sitio elegido se utilizó el Core el cual permitió llegar a una profundidad aproximada de 10 cm en el sedimento (profundidad escogida según metodología utilizada por INIA). Este instrumento, logró captar la muestra por el vacío que se lograba al taparlo por un extremo, cogiendo la muestra lo más eficientemente posible.

2.1.3.- Variables estudiadas

2.1.3.1.- Variables en aguas

El registro histórico entregado por la DGA para ser analizado en el presente trabajo consideró las siguientes variables:

Tabla 2: Variables monitoreadas por la DGA

Parámetros físicos	Microelementos		Macroelementos	Nutrientes
pH	Cu	Cr	Ca ⁺²	NO ₃ ⁻
Temperatura	Ni	Mo	Mg	NO ₂ ⁻
Conductividad	Cd	As	Na ⁺	NH ₃
Turbiedad	Zn	CN ⁻	K ⁺	PO ₄ ⁻³
Caudal	Pb	Hg	Cl ⁻	SiO ₂
OD	Ag	Se	SO ₄ ⁻²	DQO
RAS (se calculó)	Fe	B	HCO ₃ ⁻	
	Co	F	CO ₃ ⁻²	
	Mn	Li		
	Al			

Nota: Tanto carbonatos como bicarbonatos fueron analizados en un laboratorio externo (Hidrolab).

Todas estas variables forman parte de los Requisitos máximos N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", en exclusivo para riego.

2.1.3.2.- Variables en sedimentos

Tabla 3: Variables monitoreadas

VARIABLES		
	Aniones	Cationes
pH	CO ₃ ⁻²	Na ⁺
Conductividad Eléctrica	Cl ⁻	K ⁺
Materia Orgánica	NO ₃ ⁻	Mg ⁺²
Fósforo soluble	SO ₄ ⁻³	Ca ⁺²

2.2.-Metodología utilizada por laboratorio de DGA en muestras de agua

Los análisis de laboratorio para las muestras de agua, fueron realizados lo antes posible para evitar cambios químicos en especial en muestras que pudieran presentar variaciones en sus resultados.

Las técnicas analíticas utilizadas por personal de laboratorio de la DGA se exponen a continuación.

Tabla 4: Métodos y técnicas para la determinación de nutrientes en muestras de aguas

Parámetros	Metodología Analítica	Técnica Analítica	Límite de Detección	Referencias Bibliográficas
NO ₃ ⁻	Salicilato Sódico	E.A.M.	0,010 mg/L en muestras Sup y Sub 0,002 mg/L en muestras Lagos	Rodier, 1981

NO_2^-	Método de Diazotización	E.A.M.	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 4500-NO2. Hach Method 8507, USEPA Approved
NH_3	Método Nessler	E.A.M.	0,01 mg/L	Hach Method 8038, USEPA Approved
PO_4^{-3}	Método de Acido Ascórbico	E.A.M.	0,003 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 4500-P-E. Hach Method 8048, USEPA Approved
SiO_2	Método del Molibdo- silicato	E.A.M.	0,5 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 4500-SiO2 C. Hach Method 8185, USEPA Approved
D.Q.O.	Método del Reactor de Digestión	E.A.M.	1 mg/L	Hach Method 8000, USEPA Approved

E.A.M: Espectroscopía de absorción molecular

Tabla 5: Métodos y técnicas para la determinación de microelementos en muestras de aguas

Parámetros	Métodología Analítica	Técnica Analítica	Límite de Detección	Referencias Bibliográficas
Cu	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,01 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Ni	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,02 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Cd	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,02 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Zn	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,01 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Pb	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,05 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Co	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,01 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Ag	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,01 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Fe	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,03 mg/l	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Mn	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,01 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Cr	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,01 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B

Al	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,3 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 D
Mo	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,05 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 D
As	Espectroscopía de absorción atómica con generacion de hidruros	E.A.A	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3114 B/Perkin Elmer
Hg	Espectroscopía de absorción atómica con vapor frio	E.A.A	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3112 B/Perkin Elmer
Se	Espectroscopía de absorción atómica con generacion de hidruros	E.A.A	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3114 B/Perkin Elmer
B	Método del Azometino-H	E.A.M	1 mg/L	AOAC Metodo oficial 982,01

E.A.A: Espectroscopía de absorción molecular

Al	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,3 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 D
Mo	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,05 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 D
As	Espectroscopía de absorción atómica con generacion de hidruros	E.A.A	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3114 B/Perkin Elmer
Hg	Espectroscopía de absorción atómica con vapor frio	E.A.A	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3112 B/Perkin Elmer
Se	Espectroscopía de absorción atómica con generacion de hidruros	E.A.A	0,001 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3114 B/Perkin Elmer
B	Método del Azometino-H	E.A.M	1 mg/L	AOAC Metodo oficial 982,01

E.A.A: Espectroscopía de absorción molecular

Tabla 6: Métodos y técnicas para la determinación de macroelementos en muestras de aguas

Parámetros	Metodología Analítica	Técnica Analítica	Límite de Detección	Referencias Bibliográficas
Ca ⁺²	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,08 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Mg ⁺²	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,03 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Na ⁺	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A	0,05 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
K ⁺	Espectroscopía de absorción atómica	E.A.A.	0,03 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 3111 B
Cl ⁻	Titulación	Titulación Analítica	1 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 4500-Cl-C
SO ₄ ⁻³	Turbidimetría	E.A.M	2 mg/L	SMEWW 19th Edition, Method 4500-SO ₄ ⁻³

Los análisis de DQO y Litio se realizaron en un laboratorio externo (Hidrolab).

2.3.-Procedimiento experimental para análisis de sedimentos

2.3.1.-Preparación de la muestra

Las muestras fueron transportadas hasta las dependencias del Laboratorio de la Universidad de Chile donde se depositaron en bandejas etiquetadas y especialmente acondicionadas para el posterior secado de la muestra.

Tras el secado, se llevará a cabo el proceso de tamizado con el fin de tomar el tamaño ideal de grano (0,063mm) para realizar lo análisis subsiguientes.

2.3.2.-Tamizado

Cada muestra fue preparada de la siguiente manera: se secó de forma natural el sedimento para evitar degradación y cambios en las propiedades del sedimento. Posteriormente, se tamizó la muestra y no se logró la cantidad de muestra adecuada para realizar todos los análisis por lo que se consideró utilizar los 2 menores tamaños de muestra.

- Tamiz de luz de malla de 0,355 mm
- Tamiz de luz de malla de 0,063 mm

El primero fue utilizado para determinar pH, conductividad, materia orgánica y fósforo y el segundo se utilizó para análisis de cationes y aniones por métodos cromatográficos. El procedimiento de tamizado se llevó a cabo por medio de un Rotor marca Joy modelo N°: 30X186624001, el cual tenía la función de facilitar la separación por tamaños de partículas de sedimento.

Luego, cada muestra fue etiquetada y dispuesta en frascos plásticos de 500 g, hasta su posterior utilización.

2.3.3.-pH y Conductividad

Materiales:

Frasco de plástico con tapa

- 50 mL Agua desionizada
- Agitador eléctrico Agitador orbital, modelo Boeco 05-20 Orbital Shaker
- 20 g de sedimento
- Espátula de acero inoxidable
- Potenciómetro con electrodo de platino (Hanna HI 111) calibrado

Procedimiento:

Se realizó una mezcla sólida: líquido con los 20 g de sedimento y los 50 mL de agua desionizada, la cual fue agitada por 2 horas.

Luego, se introdujo el electrodo del potenciómetro (previamente calibrado) en la parte superior de la suspensión y se midió el pH y la conductividad.

A cada muestra se le realizaron 3 repeticiones para asegurar la fidelidad de los resultados.

2.3.4.-Materia Orgánica

Materiales:

- 0,5 g de sedimento
- Espátula de acero inoxidable

- Balanza analítica (Shimadzu AUX220- Equilab)
- 1 matraz Erlenmeyer
- Solución de dicromato 0,1667 M (MERCK p.a.)
- Sulfato ferroso 0.5M (MERCK p.a.)
- Ácido Sulfúrico concentrado para análisis (MERCK p.a.)
- Acido fosfórico concentrado para análisis (MERCK p.a.)
- Agua desionizada
- Potenciómetro con electrodo de platino (Hanna HI 111)
- Bureta
- Agitador magnético

Procedimiento:

En un matraz Erlenmeyer se mezcló la muestra y se agregó 10 mL de la solución de dicromato de potasio.

Luego se agregó 20 mL de ácido sulfúrico y se agitó cuidadosamente para posteriormente dejar reposando por 30 minutos bajo campana. Tras esto se agregó 10 mL de ácido fosfórico concentrado y 180 mL de agua.

Finalmente se procedió a titular con FeSO_4

La ecuación que relaciona las variables anteriores es la siguiente:

$$\text{Materia Orgánica}(\%) = 1,724 * \text{carbono}(\%)$$

Ecuación N° 1

$$C(\%) = \frac{V1 - V2}{S} * M * 0.39 * fh$$

Ecuación N° 2

Donde:

V1 : mL de solución de sulfato ferroso utilizado en la titulación de los componentes sin muestra (utilizado como referencia)

V2 : mL de solución de sulfato ferroso utilizado en la titulación de la muestra

M : molaridad de la solución de sulfato ferroso

Constante de la ecuación, referida a los volúmenes de compuestos utilizados

$$= 0.39: 3 * 100 * 1.3/1000$$

S : peso en g de la muestra seca al aire

fh : factor de humedad (Anexo D ejemplo 1)

1.724: factor empírico de conversión de carbono a materia orgánica

2.3.5.-Fósforo soluble

Materiales:

- 2,5 g de sedimentos
- Espátula de acero inoxidable
- frascos plásticos con tapa, previamente lavados con agua desionizada
- Bicarbonato de sodio pH 8.5 (MERCK)
- Agitador eléctrico Agitador orbital, modelo Boeco 05-20 Orbital Shaker
- Centrifuga
- Papel filtro
- Embudos de decantación
- Estándares de fósforo
- Tubos de ensayo
- Espectrofotómetro UV-Visible (Shimadzu UV-1700, Pharma Spec)

- Reactivo mezclado (Ac. Sulfúrico, molibdato de amonio, Ac. ascórbico y Tartrato de potasio y amonio)

Procedimiento:

El método utilizado es para obtener fósforo disponible y se conoce como Olsen y Bray.

Se mezcló 50 mL de solución de bicarbonato con la muestra de sedimento dejándolo agitar por 30 minutos, tras lo cual fue centrifugado y filtrado en embudos de decantación cubiertos con papel filtro. Al extracto obtenido se le agregó una solución de reactivo mezclado para desprender CO₂ y se dejó reposar hasta obtener coloración azul (aproximadamente 1 hora).

Se midió la absorbancia de la muestra en un espectrofotómetro UV-Visible a una longitud de onda de 880 nm.

Paralelamente por medio de una solución concentrada de fósforo se confeccionó una curva de calibración incluyendo un blanco de absorbancia contra concentración de fósforo para determinar la concentración de cada una de las muestras

La ecuación que relaciona todos los factores anteriores para la obtención de la concentración de las muestras problema es la siguiente:

$$P(\text{mg/Kg}) = (a - b) * fh * 20 \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Donde:

a: mg/L de fósforo en extracto de la muestra

b: mg/L de fósforo puro

20: factor de relación líquido: sedimento

fh : factor de corrección por humedad (Anexo D ejemplo 1)

2.3.6.-Sales Solubles

Materiales:

- Frasco de plástico con tapa
- Agua desionizada
- 10 g de sedimento
- Espátula de acero inoxidable
- Centrífuga (Boeco, U-320)
- Tubos de centrifuga
- Pipeta pasteur
- Filtros milipor desechables
- Tubos eppendorf de 1,5 mL
- Jeringas plásticas de 5 mL
- Estándares Tritisol de: Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Cloruro, Nitrato, Carbonato, Sulfato, 1000 ppm.
- Matraz de aforo 10 mL
- Fase móvil cationes: 200 µL de ácido nítrico suprapur (Merck) y 29,6 mg de EDTA (MERCK p.a.) en un litro de agua (grado Milliq)
- Fase móvil aniones: 20 mL de concentrado (LiOH, Ácido Bórico, ácido glucónico), mas 70 mL de acetonitrilo grado HPLC en un litro de agua desionizada (grado Milliq).
- Columna IC-Paktm Cationes M/D.
- Columna IC-Paktm Aniones HC.
- Espátula de metal
- Filtro de membrana PVDF de 0,22 µm de poro.
- Equipo HPLC (Waters 1515) con detector de conductividad (Waters 432).

- Balanza de precisión V-2400 Acculab

Procedimiento

Se realizó una mezcla con sedimento y agua desionizada hasta llegar a una pasta de saturación teniendo las siguientes consideraciones:

- textura suave que al sacar un poco con espátula, éste escurra sin problemas
- Que tenga un brillo uniforme
- Que al ser golpeado el recipiente en el mesón de trabajo, se colecte agua sobre la pasta

Se dejó reposar refrigerada durante toda la noche y al otro día fue separado por medio de centrifugación (durante 15 minutos) y filtrado para su posterior análisis cromatográfico.

Cada muestra fue inyectada en el equipo HPLC con sus debidas repeticiones.

Previamente se realizó el mismo procedimiento con estándares de las sales solubles obteniendo para cada una ecuación que representa la relación entre áreas obtenidas y concentraciones encontradas. Finalmente se comparó con los resultados de las muestras y se obtuvo las concentraciones de cationes y aniones en mg/L.

2.3.7.-Factor de humedad

Materiales

- Vaso precipitado de 15 mL
- 0.5 a 2 g de muestra de sedimentos
- Balanza analítica (Shimadzu, AUX220)
- Estufa de secado, marca Jinghong modelo ZHG-9147A
- Espátula de acero inoxidable

- Desecador con sílica gel

Procedimiento

Se masó un vaso precipitado solo y se le agregó una cantidad conocida de sedimentos para nuevamente volver a masar.

Se dejó en la estufa de secado durante 24 horas a 105°C, tras lo cual se masó nuevamente para conocer el nuevo peso que debía tener luego de la pérdida de humedad.

Como criterio usado para determinar el peso de la muestra sin indicios de humedad, se masó las muestras cada 1 hora hasta llegar a un peso constante. Para evitar la humedad que contamina la muestra cada vez que es sacada de la estufa y enfriada, éstas eran colocadas en una cámara con sílica gel que mantenía seco el ambiente interno.

Las ecuaciones que relacionan las variables la siguiente:

$$fh = \frac{100 + \text{humedad}(\%)}{100} \quad \text{Ecuación N° 4}$$

$$\text{humedad}(\%) = \frac{a - b}{b - c} * 100 \quad \text{Ecuación N° 5}$$

Donde:

a: peso en gramos de sedimento seco al aire + recipiente

b: peso en gramos de sedimento seco a 105 °C + recipiente

c: peso en gramos del recipiente

III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se analizan las variables que pueden estar presentando alteraciones en la calidad de las aguas que son utilizadas para el riego de los cultivos que se dan en la zona.

Los análisis que se llevarán a cabo pretenden abarcar principalmente la incidencia que puedan tener las actividades antrópicas existentes en la zona por medio del estudio de:

- 1) Análisis de la calidad de las aguas en zonas cercanas a las actividades antropogénicas relevantes (KDM, NOGAZ).
- 2) Análisis de sedimentos y comparación entre puntos de muestreo.
- 3) Comparación de las concentraciones de variables encontradas tanto en aguas como en sedimentos

El análisis de la calidad de las aguas se realizó por medio de:

- Utilización de datos individuales

- Cálculo de promedios acumulados de variables monitoreadas por la DGA en el periodo comprendido entre los años 2002 – 2007 e incorporando los datos obtenidos en el muestreo realizado el día 23 de Diciembre de 2008, con el fin de evaluar la tendencia histórica del parámetro.

La información obtenida, fue confrontada con los requisitos máximos establecidos en la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos" específicamente en riego, considerando principalmente en este trabajo su uso para regadíos presentes en el sector de Til-Til.

Los análisis referentes a sedimentos fueron realizados con datos obtenidos en el monitoreo realizado al pueblo de Rungue y a las cercanías del Embalse Rungue el día 23 de Diciembre de 2008.

Tanto las muestras de aguas como de sedimentos, fueron tomadas en los mismos puntos de monitoreo, con el fin de conocer y comparar la situación entre ambas fases. Considerando que no existe normativa para máximos de concentraciones de variables para sedimentos en Chile, se informarán las concentraciones actuales en el Embalse Rungue como en sus afluentes

3.1.- Análisis de la calidad de las aguas del embalse Rungue según actividad antrópica

Este estudio tiene la finalidad de evaluar si las actividades antrópicas que se emplazan en la cuenca donde se ubica el embalse Rungue, son un factor predominante sobre la calidad de las aguas de este.

La evaluación consistió en analizar el comportamiento de los parámetros en el período comprendido entre los años 2002 – 2008, y determinar la aptitud del uso del agua de acuerdo a los requisitos máximos de la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", en específico para riego.

Fueron entregados para esto, registros de 40 variables (ver Tabla 2 y 3), en cada uno de los 19 puntos muestreados, analizados y pertenecientes a la red de monitoreo de la Dirección General de Aguas presentadas en la tabla 7.

Tabla 7: Ubicación de puntos de muestreo considerados por DGA

Ubicación	Coordenadas (UTM)		
	Norte(m)	Este(m)	Cota(m.s.n.m.)
1) Estero Montenegro en vertiente Hijuela Rosario Valle	6353781	329930	781
2) Estero Montenegro antes de ruta 5 Norte	6352230	329850	775
3) Drenaje la rucia-agua potable rural Montenegro	6350838	328627	772
4) Pozo agua potable rural de Montenegro	6350940	328530	765
5) Red de agua potable casera Montenegro	6352180	329650	770
6) Drenaje oriente inicio - sector fabrica de cerámica Batuco	6347100	323330	720
7) Pozo fabrica de ceramica Batuco (quebrada El Manzano)	6346960	323060	733
8) Estero Rungue (C)	6349842	323285	765
9) Estero El Manzano aguas arriba instalaciones NOGAZ (F)	6347050	323080	735
10) Estero El Manzano antes confluencia estero Rungue (B)	6346600	323360	705

11) Estero Rungue antes embalse brazo izquierdo (A)	6346700	323650	701
12) Estero Rungue antes embalse brazo derecho	6346680	323570	700
13) Canal Caleu antes entrada a embalse Rungue	6345060	321800	703
14) Embalse Rungue (D)	6344920	321870	695
15) Salida de válvula Embalse Rungue (E)	6344900	321770	680
16) Vertiente Cerro Blanco fundo Las Bateas	6349093	325072	797
17) Noria fundo Las Bateas frente vertedero KDM	6351273	329745	760
18) Vertiente agua La Vinilla fundo Las Bateas	6348781	323423	692
19) Vertiente El Manzano	6347959	322604	716

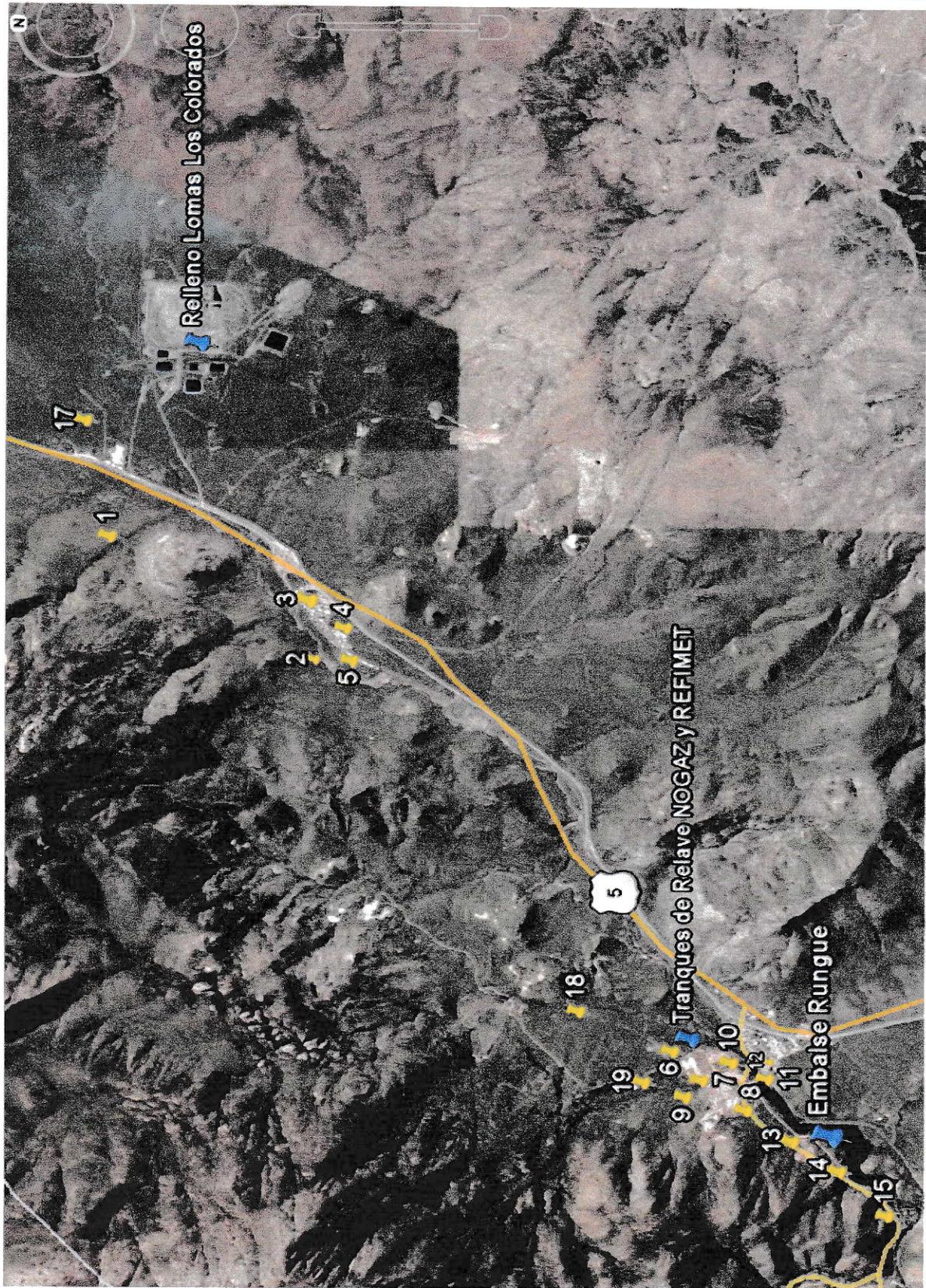


Figura 12: Puntos de muestreo considerados por DGA

3.1.1.- Relleno Sanitario Lomas Los Colorados

Se analizó el registro de datos de las zonas cercanas al relleno sanitario Lomas los Colorados, siendo la más próxima, la medición realizada en el estero Montenegro antes de a ruta 5 Norte (Ver en Tabla 7, ubicación n° 2 en listado).

El período en que se realizaron los monitoreos considera los años 2003 y parte del 2004 debido a que previo y posterior a estas fechas se presentaron periodos de sequía.

Para describir el comportamiento de las variables analizadas en el presente capítulo se utilizó datos individuales debido a que con la cantidad de registros existentes no lograría establecer una tendencia clara explicar.

3.1.1.1.- pH y Conductividad

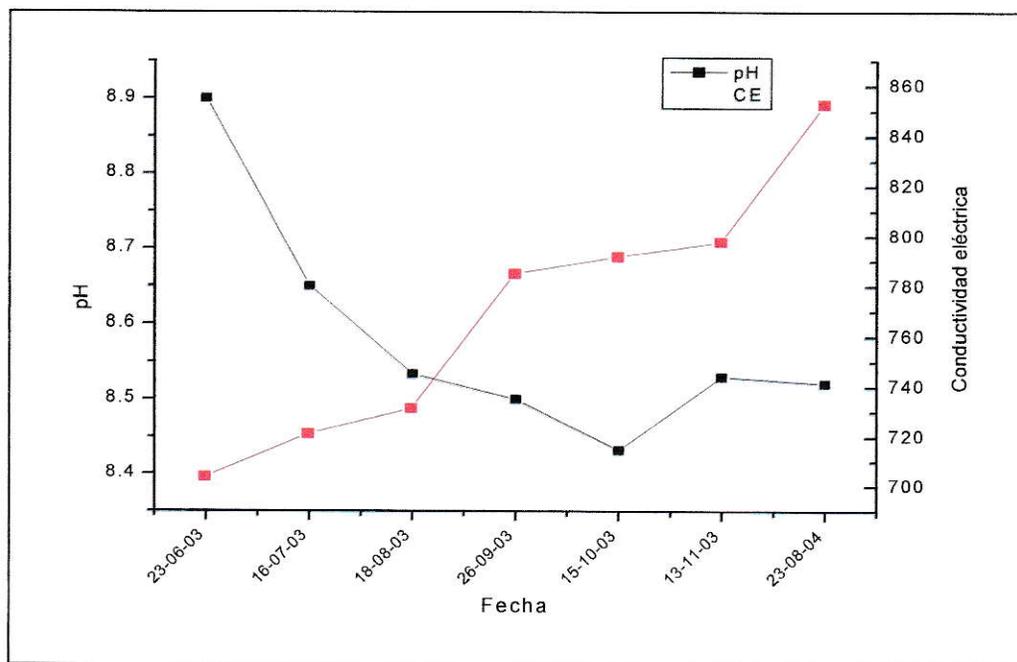


Figura 13: Comportamiento del pH y de la CE en las aguas del Estero Montenegro.

Los datos de ambas variables fueron graficadas sin previo tratamiento (es decir, sin análisis estadístico), debido a la escasa cantidad de registros de ambas variables en la zona.

Se logró establecer que los valores de pH varían dentro de los límites establecidos por la norma considerada en este estudio, (requisitos máximos de la N.Ch. 1333/of. 1978 “Calidad del Agua para diferentes Usos”, específicamente para riego, Anexo A). Es posible notar la correlación existente entre ambos parámetros donde se observa proporcionalidad inversa de uno con respecto al otro sólo hasta Octubre del 2003, posterior a ésta fecha el pH aumenta. Las variables se manifiestan entre rangos de pH 8,4 – 8,9 unidades de pH y en el caso de la conductividad entre 710- 858 $\mu\text{S}/\text{cm}$ considerando que la norma para pH permite valores entre 9 y 5,5 unidades de pH.

3.1.1.2.- Metales

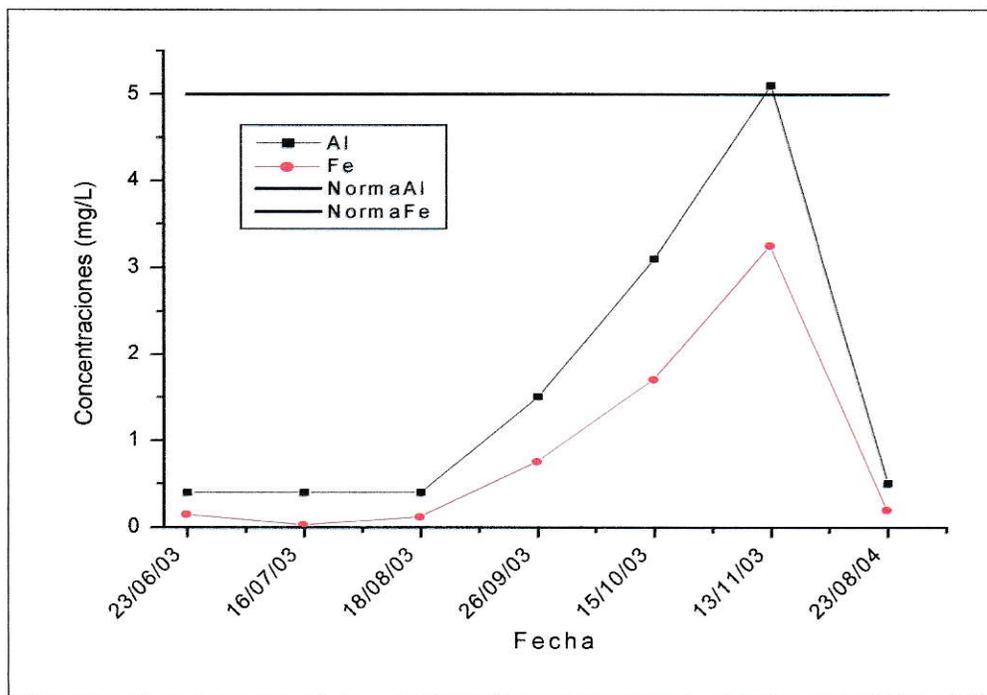


Figura 14: metales solubles en estero Montenegro

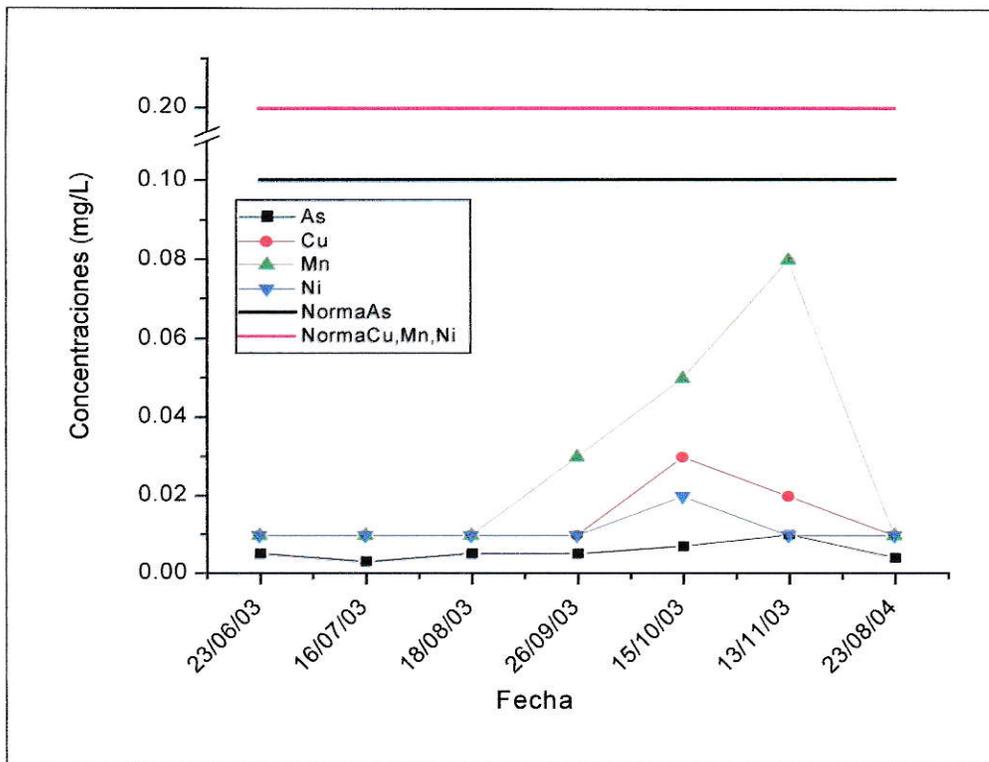


Figura 15: metales solubles en estero Montenegro II

- Metales: Según lo presentado en las figuras 14 y 15, los datos en la mayoría de los parámetros, con excepción del aluminio y del hierro, presentan tramos constantes con concentraciones menores de 0,2 mg/L durante todo el periodo considerado, por lo cual en ninguno de los casos es superada la norma. En el caso del aluminio y del hierro, los valores se mantienen cercanos a los 0,5 mg/L para aumentar exponencialmente desde Agosto hasta Noviembre del 2003 coincidiendo con el valor de la norma en el caso del Aluminio y de similar forma pero en menor concentración en el caso del Hierro cuyo valor no alcanza a la norma.

3.1.1.3.- Aniones y cationes

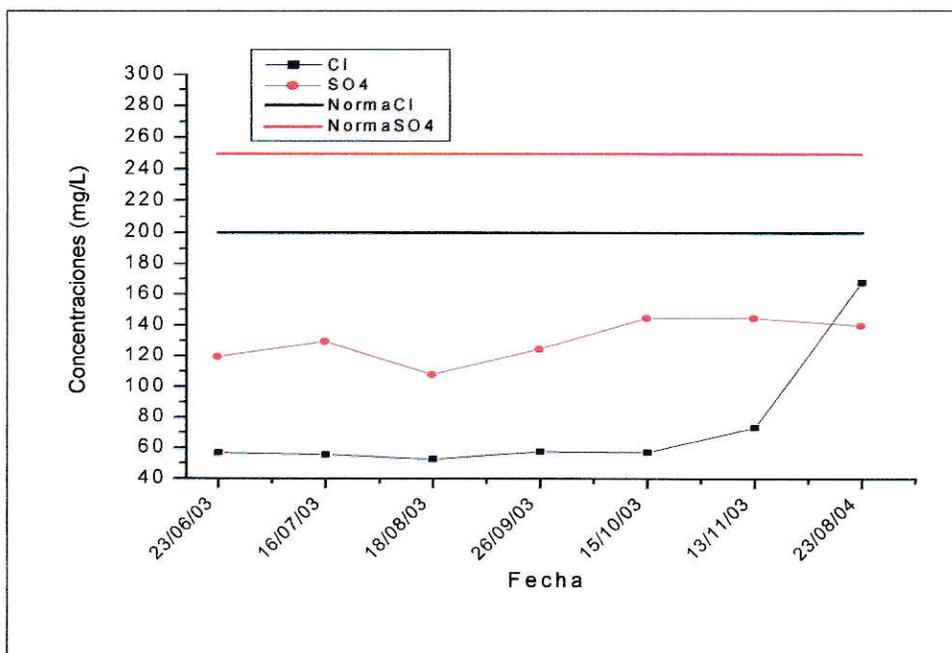


Figura 16: Aniones en estero Montenegro

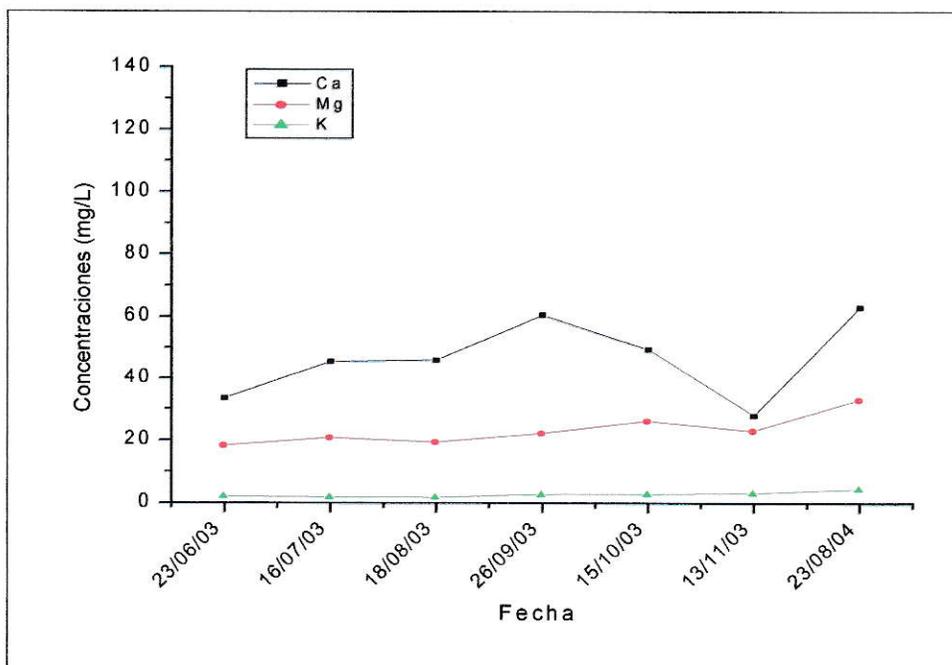


Figura 17: Cationes en estero Montenegro

- Cationes: Se observa en la gráfica de la figura 17 que las concentraciones mantienen el siguiente orden durante todo el periodo considerado: Calcio, Potasio y Magnesio. Exhiben tasas de cambio positivas en tramos que difieren en valores de pendiente pero que siempre se inclinan a cifras positivas (Ca: 2.04 mg/L; Mg: 1.97 mg/L; K: 0.38). Debido a que no son parámetros considerados en la N.Ch N°1333, no existen registros límites de comparación.
- Aniones: La figura 16 presenta registros mayores con respecto a los valores de sulfatos, presentando tendencia positiva (4,5 mg/L), mientras que los Cloruros se manifiestan constantes durante gran parte del año 2003. Su tendencia es positiva igualmente (13.3 mg/L) y muy por sobre el parámetro anterior. Ambos parámetros se mantienen con valores bajo los máximos entregados por la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes usos"

3.1.1.4.- OD, DQO y compuesto nitrogenados

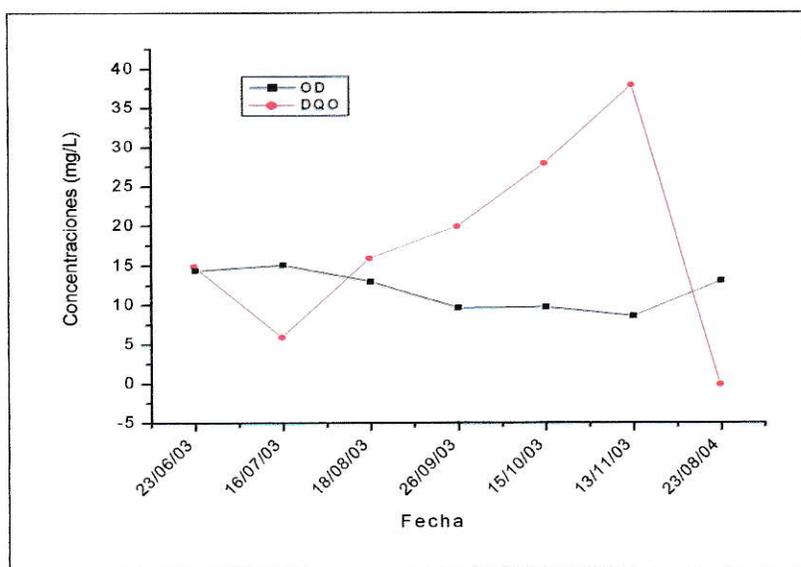


Figura 18: OD y DQO en estero Montenegro

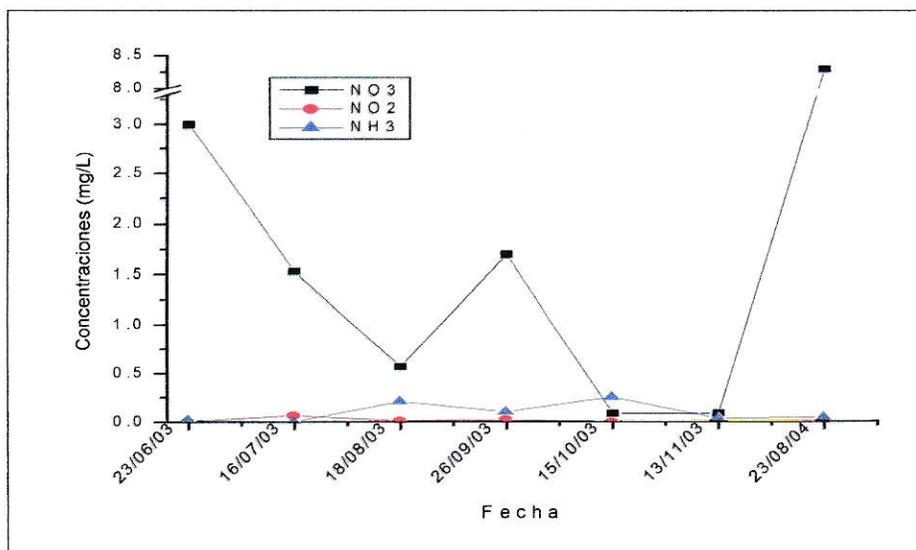


Figura 19: Compuestos nitrogenados en estero Montenegro

- OD y DQO: La figura 18 presenta tasas de cambio levemente negativas para el oxígeno disuelto (OD) con valores entre 7 y 16 mg/L. Con respecto al análisis que presenta la DQO, su tasa de cambio positiva en la mayor parte del periodo (1,10 mg/L), lo que se interpreta como un aumento de material oxidable en tal periodo. En cuanto a la posible comparación entre ambos parámetros, existe relación inversa entre ambos, disminuyendo el oxígeno disuelto levemente a medida que la DQO aumenta. Ambos parámetros no forman partes de las variables consideradas en la norma utilizada en este trabajo por tanto los datos son entregados sólo como información del sitio.
- Compuestos nitrogenados: En la figura 19 se observa la diferencia de comportamiento entre cada uno de los 3 compuestos nitrogenados informados. Se logra establecer que el nitrato presenta variados comportamientos mientras que el nitrito y amoniaco se mantiene relativamente invariable y muy por debajo de los 0,5 mg/L. Las tendencias entregadas exhibieron la mayor cifra en el

nitrito con 0,44 mg/L, mientras que para el nitrito es negativa $-0,006$ mg/L y para el amoníaco 0,006 mg/L.

3.1.2.-Tranques de relave minero

Los tranques de relaves mineros NOGAZ y REFIMET, como se señaló en capítulos anteriores, podrían contribuir a los cambios que se han observado en las aguas del Embalse Rungue. Para conocer el estado general de la zona con respecto a los procesos desarrollados y a su influencia sobre el embalse, se consideró analizar los puntos más cercanos a sus instalaciones (Ver tabla 8 y figura 20).

Tabla 8: Registro de las estaciones de monitoreo

ESTACIÓN DE MONITOREO			COORDENADAS		
Nombre	Designación	Tipo de Recurso	Norte	Este	Cota (m.s.n.m.)
Pozo fabrica de cerámica Batuco (quebrada El Manzano)	E1	Aguas Subterráneas	6346960	323060	733
Esteros El Manzano aguas arriba instalaciones NOGAZ	E2	Aguas Superficiales	6347050	323080	735
Esteros El Manzano antes confluencia estero Rungue	E3	Aguas Superficiales	6346600	323360	705
Esteros Rungue antes embalse	E4	Aguas Superficiales	6346700	323650	701
Embalse Rungue en vertedero original/muro	E5	Aguas Embalsadas	6344920	321870	695
Salida de válvula Embalse Rungue	E6	Aguas Embalsadas	6344900	321770	680



Figura 20: Ubicación de los sitios considerados para análisis de los tranques de relave

3.1.2.1.- pH

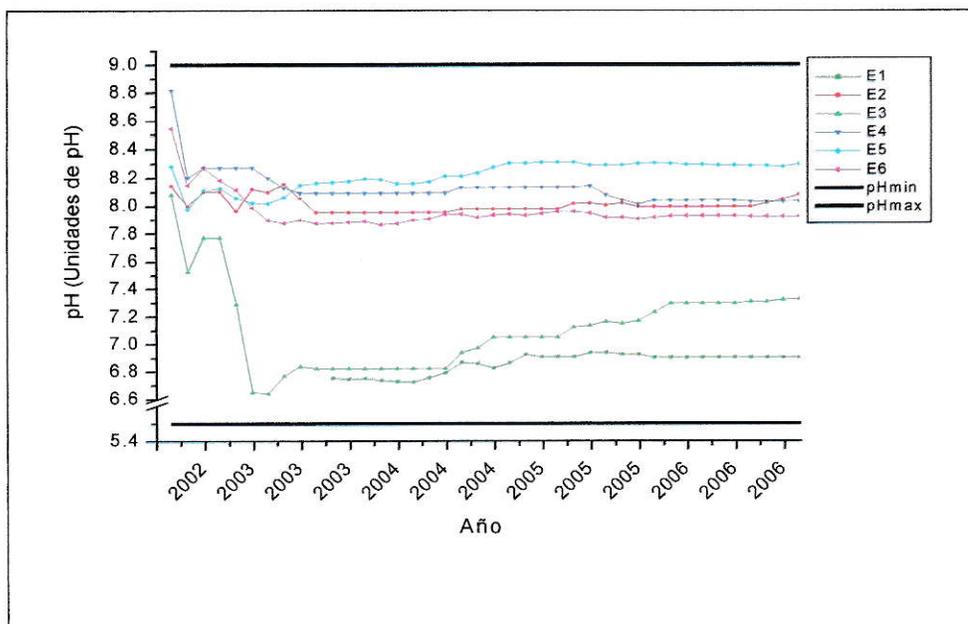


Figura 21: Promedio acumulado de valores de pH en distintos sitios de muestreo

El comportamiento de los valores de pH en los distintos sitios, presenta variaciones en la mayoría de las estaciones muestreadas.

La estación del pozo de fábrica de cerámicas Batuco (E1) junto con el estero El Manzano antes de la confluencia con estero Rungue, tiene los menores valores de pH, probablemente por que son sitios directamente afectados por las aguas de relave (aguas ácidas).

El resto de los sitios, sobrepasan a las estaciones antes mencionadas, posiblemente por el efecto causado por las sales de calcio en la zona.

Se observa coincidencia de datos de promedios acumulados durante todo el año 2004, donde se presentan tramos con valores constantes entre estaciones.

Entre los años 2005 a 2008 cada estación sigue su trayectoria de forma independiente con lapsos de continuidad en su desarrollo lo que permitiría establecer que los cambios no fueron bruscos por lo que el promedio siguió manteniendo constante.

En general, el pH de las estaciones no superó como máximo las 8,4 unidades de pH y como mínimo, las 6,6 unidades, por lo que se establece que cumplen con los requerimientos establecidos como máximos en la norma considerada.

3.1.2.2.- Conductividad Eléctrica

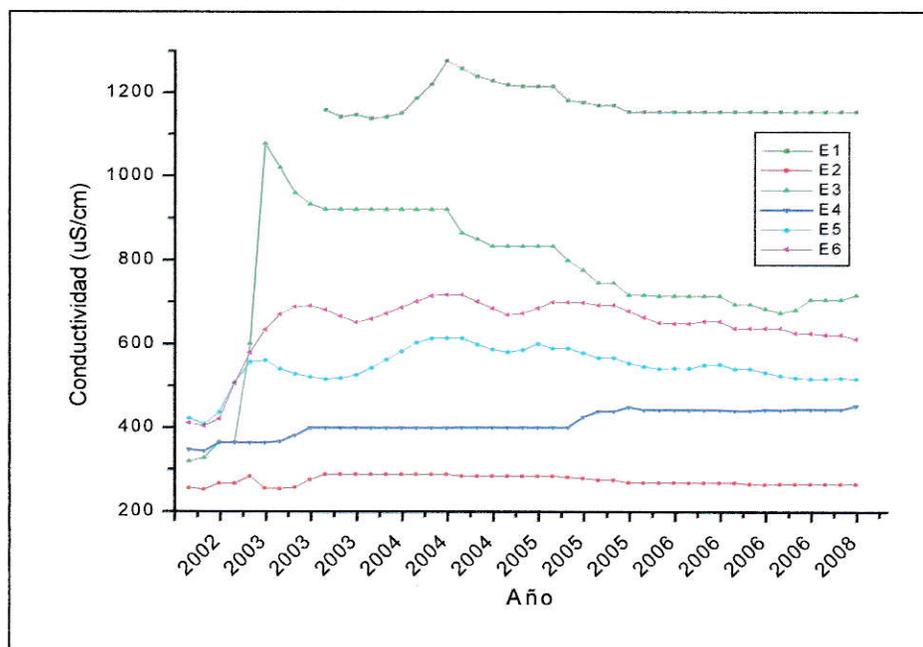


Figura 22: Promedio acumulado de la Conductividad Eléctrica en distintos sitios de muestreo

En la figura 22, se observa que el pozo de fábrica de cerámica Batuco (E1) presenta el mayor valor debido a los depósitos con material minero, siendo éstos capaces de aumentar los valores de conductividad.

Cercano al valor obtenido en este sitio se encuentra el Estero El Manzano antes de la confluencia con el Estero Rungue (E3), donde se registra en el periodo 2003 – 2004 comportamiento constante sugerido por valores de conductividad similares, a diferencia del periodo posterior donde se exhibe una caída leve y variable del registro.

Menor a todas las estaciones muestreadas se encuentra el estero El Manzano antes de NOGAZ (E2), cuya tendencia constante no supera los 300 uS/cm, resultando evidente por su ubicación lejana a las zonas conflictivas.

El resto de las estaciones, aun cuando no tengan comportamiento constante, mantienen tasas de cambio negativas y que no superan el valor máximo recomendado según la norma.

3.1.2.3.- Sulfatos

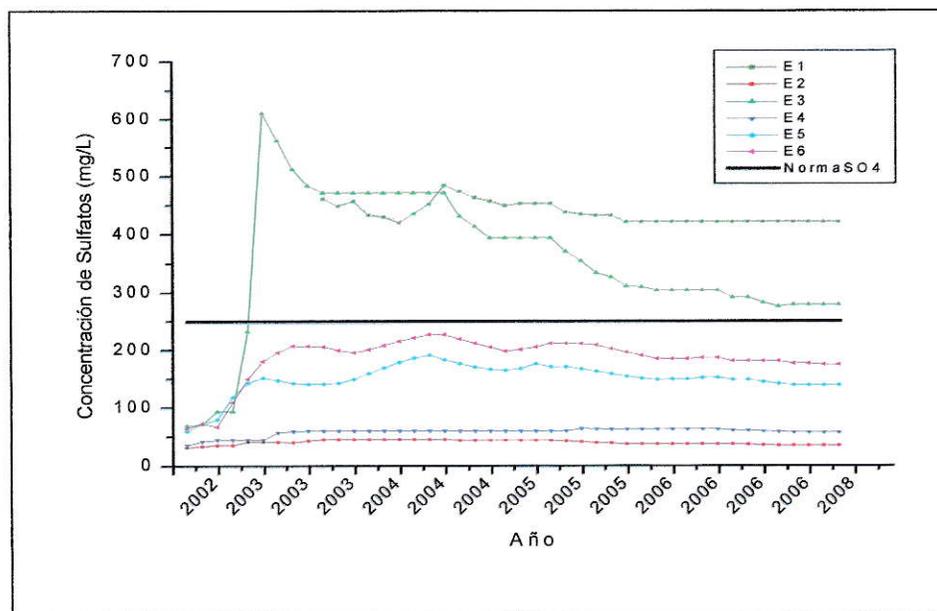


Figura 23: Promedio acumulado de las concentraciones de Sulfatos en distintos sitios de muestreo

De las estaciones consideradas, sólo 2 presentaron registros por sobre lo recomendado por la norma y son:

- El Pozo de cerámica Batuco (E1)
- Estero el Manzano antes de la confluencia con el estero Rungue (E3)

De estos, sólo el segundo exhibe un marcado decrecimiento continuo en el tiempo a razón de $-10,28 \text{ mg/Laño}$, dado por la disminución del material acumulado en las dependencias del tranque de relave, mientras que en el pozo de fabrica de cerámica Batuco es $-11,6 \text{ mg/Laño}$.

Los niveles que registra el análisis de concentración del parámetro en el resto de los sitios cumplen con la normativa legal.

3.1.2.4.- Cobre

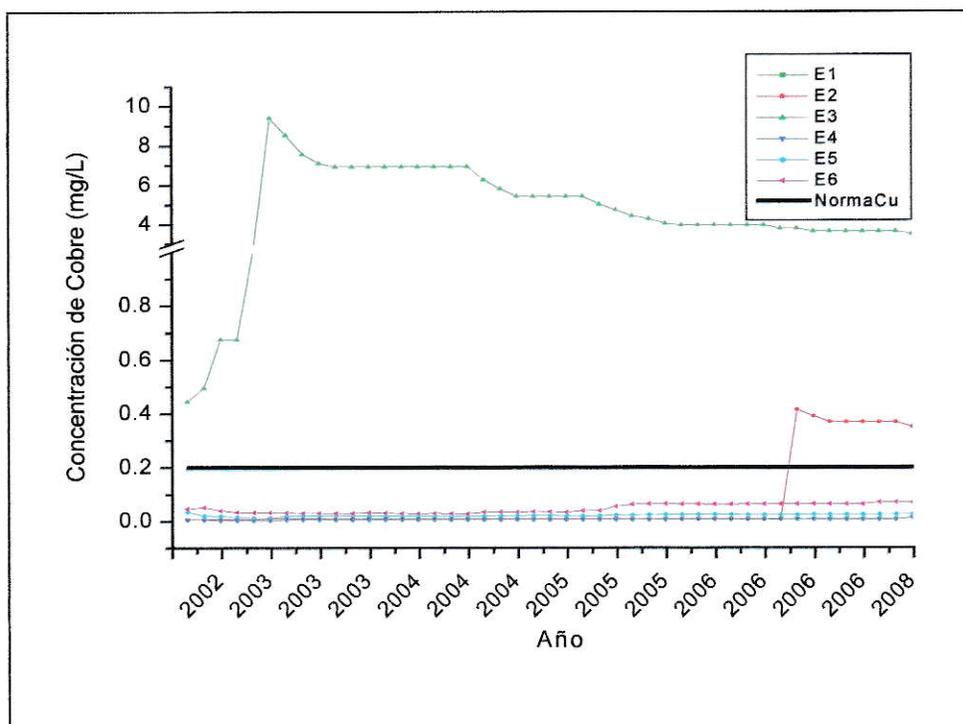


Figura 24: Promedio acumulado de las concentraciones de Cobre en distintos sitios de muestreo

El Cobre mantiene periodos constantes y muy por debajo de los valores de la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", ocurriendo esto en casi todos

los sitios a excepción del estero El Manzano (E3), donde sus altos niveles presentaron concentraciones hasta los 6 a 8 mg/L entre los años 2003- 2004. Posterior a esta fecha el análisis de los datos entrega períodos constantes y siempre con tendencia negativa a razón de -0.34 mg/Laño

3.1.2.5.- Manganeso

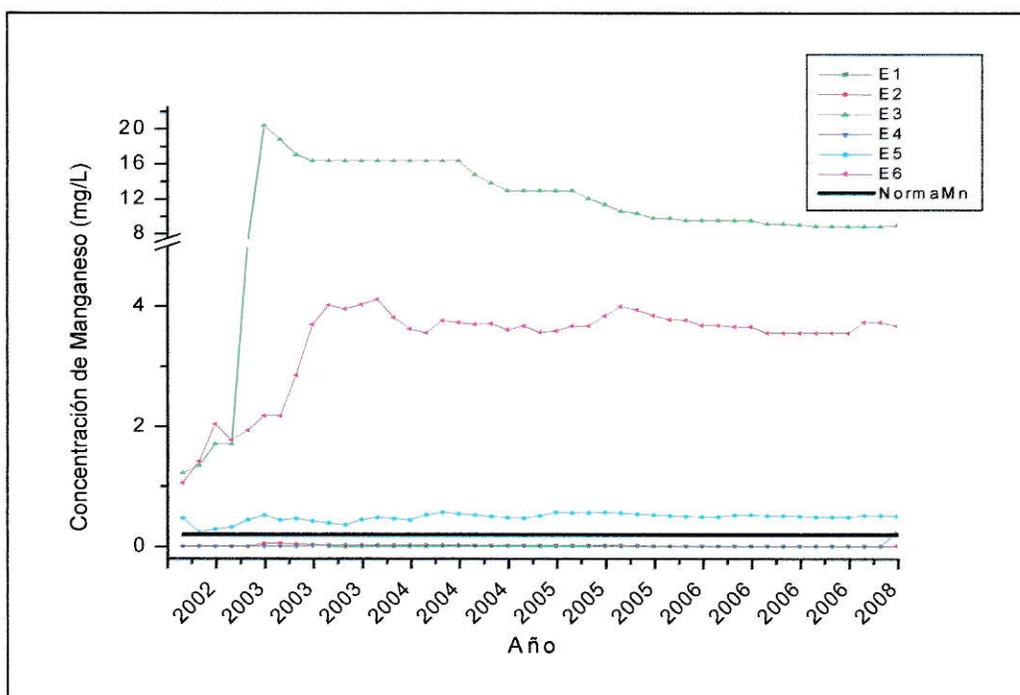


Figura 25: Promedio acumulado de las concentraciones de Manganeso en distintos sitios de muestreo

Los mayores registros de promedios acumulados se encontraron tanto en el estero El Manzano (E3) como en la salida de válvula (E6) del mismo, siendo este último sitio el que excede considerablemente los valores entregados por la norma (sobre 15 mg/L durante el año 2003 y 2004). La tendencia del primer sector (E3) disminuye a una tasa negativa de 0.34 mg/Laño a diferencia de lo ocurrido en la salida de válvula del embalse Rungue (E6) cuya tasa de cambio bordea los 0.2 mg/Laño.

Como se mencionó anteriormente, los valores de pH registrados en el estero el Manzano, benefician la existencia del Manganese soluble, lo que es corroborado por los resultados obtenidos.

3.1.2.6.- Hierro

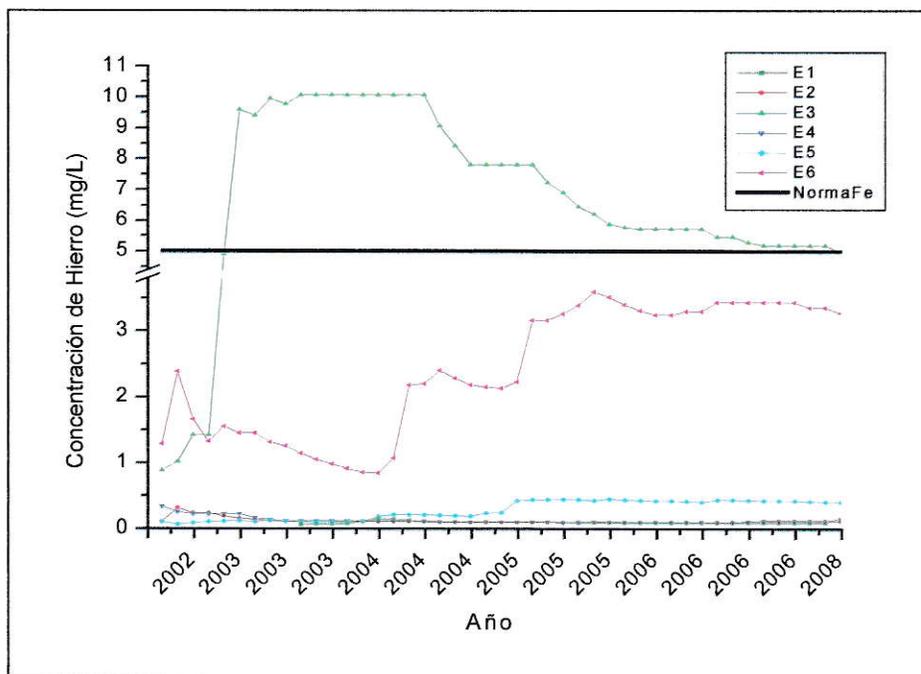


Figura 26: Promedio acumulado de las concentraciones de Hierro en distintos sitios de muestreo

En la figura 26 se observa que las estaciones que exhiben comportamientos relevantes con respecto al hierro son: el estero el Manzano después de NOGAZ (E3) y la salida de válvula del embalse (E6). El resto de las estaciones permanecen muy por debajo de los valores establecidos por la norma.

El año 2003 se observa principalmente constante en el estero el Manzano después de NOGAZ, lo que también ocurre el primer trimestre del 2004, posterior a tales fechas se presentan bruscas caídas producidas por situaciones extremas en los datos. Este

periodo de datos constante implica que los valores reales y sin el tratamiento pertinente eran muy cercanos entre sí logrando variaciones imperceptibles para el análisis.

La situación en la salida de válvula del embalse Rungue resulta ser inversa al sitio anterior, predominando tramos con concentraciones constantes y variaciones repentinas como las observadas entre los años 2004 y 2005.

Sus tendencias son opuestas entre sí, resultando ser negativa en el caso del primer sitio estudiado y positiva para la salida de válvula del embalse Rungue, extendiéndose tal comportamiento durante todo el período estudiado (estero El Manzano -0.46 mg/Laño y salida de válvula del embalse Rungue $0,44$ mg/Laño)

3.1.2.7.- Aluminio

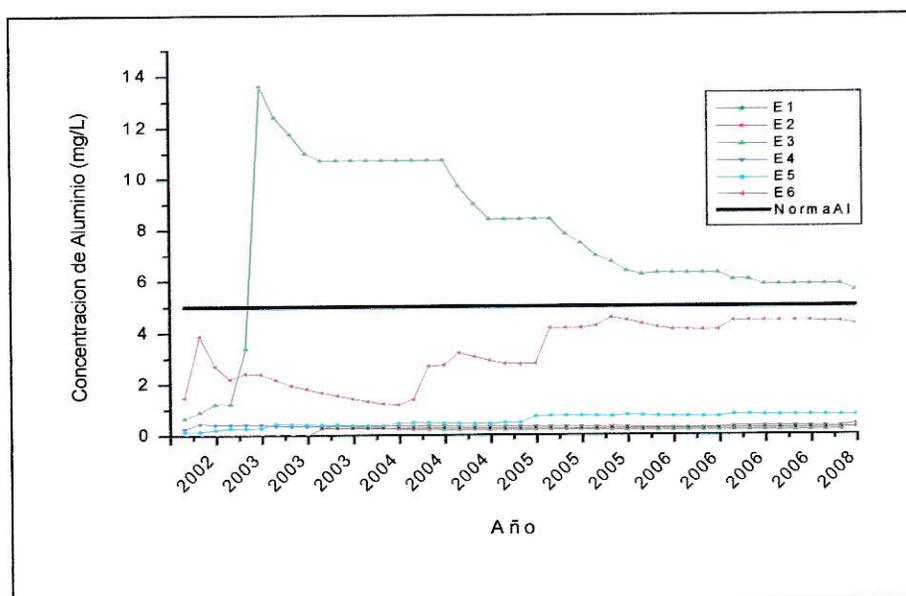


Figura 27: Promedio acumulado de Aluminio en distintos sitios de muestreo

El estero el Manzano (E3) registra los mayores valores del resto de los sitios analizados (superiores a los 6 mg/L), sin embargo su tendencia es negativa (-0.48 mg/Laño), con periodos de registros constantes de duración superior a un año como lo

observado en los años 2003 y 2004. Los altos registros obtenidos para el aluminio en este sitio, serían causados por la acidez que presenta el sector, permitiendo la permanencia del aluminio de forma soluble.

La salida de válvula del embalse Rungue de forma opuesta a lo ocurrido en la estación anterior, presenta registros con pendiente positiva (0.48 mg/Laño) observándose en el último período del análisis, registros cercanos a los límites establecidos por la norma. El resto de los sitios cumplen con la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", con conductas constantes representadas en el análisis.

3.1.2.8.- Arsénico

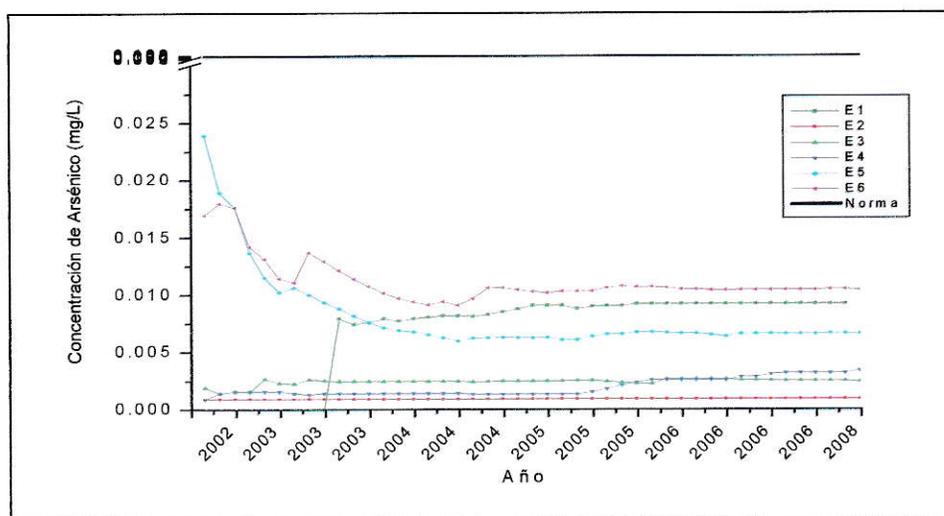


Figura 28: Promedio acumulado de Arsénico en distintos sitios de muestreo

Este parámetro es analizado con el fin de conocer los efectos que causa el tranque de relave minero REFIMET, considerando que es su principal producto.

El análisis exhibe que todos los sitios mantienen sus promedios de concentraciones bajo los límites establecidos de la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", por lo cual no presenta riesgo para el embalse Rungue.

3.1.2.9.- Influencia de las precipitaciones sobre las aguas del embalse Rungue

Las precipitaciones presentes en el sector de Rungue podrían contribuir a la aparición de material minero sobre las aguas del principal afluente del embalse Rungue.

Considerando lo anterior, se estudió el efecto que tenían las precipitaciones sobre la conductividad eléctrica en dos estaciones de monitoreo:

- Vertiente El Manzano (punto de referencia)
- Estero El Manzano

Los datos individuales de cada sitio fueron comparados entre sí, considerando que el primero no tiene influencia del tranque de relave NOGAZ (Vertiente El Manzano), mientras que el segundo sitio sí la tiene. De esta forma se analizará la situación en variados escenarios de precipitaciones.

El estudio se realizó de forma superficial aún cuando el tema merece ser analizado detalladamente, situación que no forma parte del alcance de este seminario de título

Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

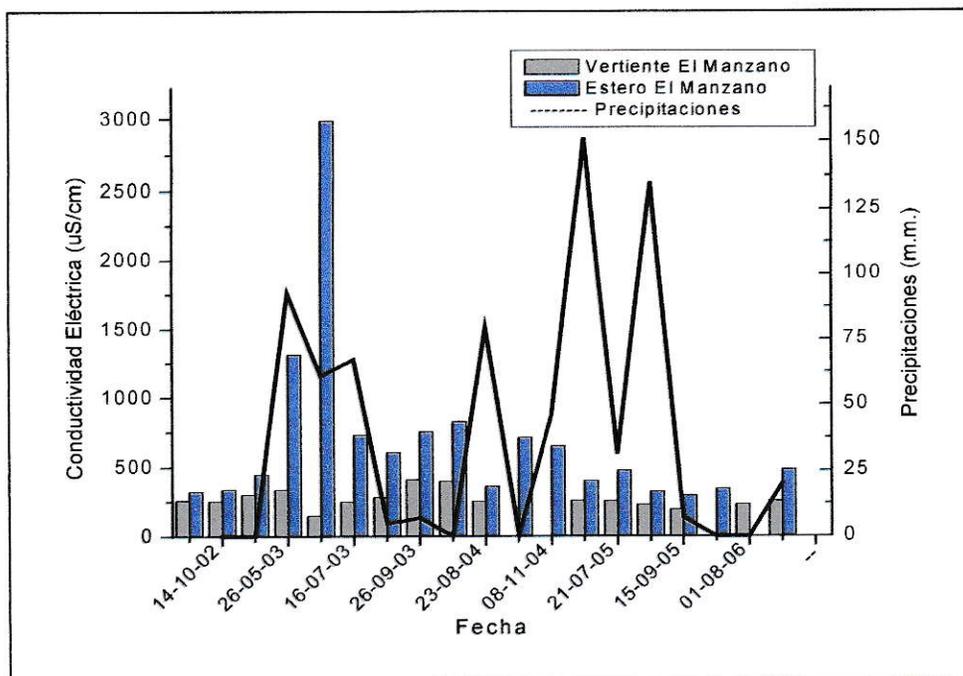


Figura 29: Análisis de las precipitaciones mensuales v/s Conductividad

Del análisis entregado por la figura 29 se puede inferir lo siguiente:

- La cantidad de datos es insuficiente como para establecer la relación desde que ocurrió el evento, pero si como aproximación de los que ocurre en la zona.
- Se observa mayor conductividad eléctrica en el sector del estero El Manzano más que en la zona de la Vertiente El Manzano.
- En Julio del año 2003 se observa un máximo de precipitaciones junto con un aumento sustancial de la conductividad eléctrica en el estero El Manzano, lo que no ocurre con máximos superiores en periodos posteriores a esta fecha.
- Los períodos con registros de precipitaciones cero, contienen datos de conductividad eléctrica en ambas zonas y el estero El Manzano sigue presentándose mayor en tal variable

3.1.3.- Análisis y caracterización de sedimentos

Los sedimentos tienen propiedades que pueden resultar beneficiosas o perjudiciales para un cuerpo de agua (capturar por medio de acomplejamiento de especies que cambien la composición de las aguas y afecten su uso). Éstas dependen de los componentes que lo constituyan y el producto resultante de reacciones con material externo al sistema, considerando que cada sedimento es distinto y característico de la zona y de los aportes que posean.

A continuación se desarrolla la caracterización de los sedimentos en cada sitio indicado anteriormente, a esto se suma comparación entre valores de sedimentos muestreados y los valores de sedimentos no intervenidos (vertiente El Manzano), debido a la inexistencia de normas que regulen su composición.

3.1.3.1.- Color

Se realizó el análisis inicial del color de cada una de las muestras que informará las condiciones oxidantes o reductoras. Las características de las muestras de cada sitio se informan y exhibe a continuación (tabla 9 y figura 30):

Tabla 9: Variables físicas consideradas en cada sitio muestreado

Lugar	Color
Puente Rungue	Café
Estero El Manzano	Café
Estero Rungue	café claro
Embalse Rungue	Café
Sal. Válvula Embalse Rungue	Negro
Vertiente El Manzano	café claro

Los colores que exhiben los sedimentos son de color café, con excepción del encontrado en la salida de válvula del embalse Rungue (Figura 39).

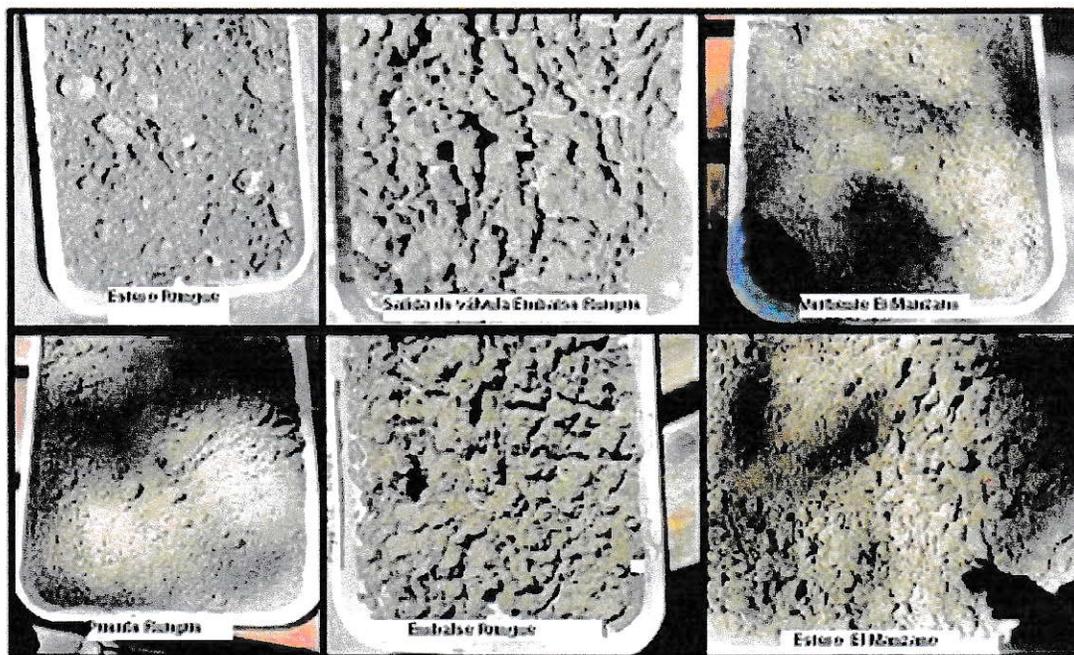


Figura 30: Sedimentos de cada sitio muestreado

3.1.3.2.- Conductividad, pH y MO

Tabla 10: Análisis de variables de sedimentos en los sitios de muestreo

Lugar	pH (unidades de pH)	Conductividad (dS/m)	MO (%)
Puente Rungue	7,3	1080	0,70
Estero El Manzano	6,4	650	1,28
Estero Rungue	7,5	400	0,07
Embalse Rungue	7,5	320	1,09
Salida de Válvula Emb. Rungue	7,3	2150	0,62
vertiente El Manzano	7,5	130	3,19

Los parámetros a continuación presentados y determinados en laboratorio en cada sitio de muestreo, proporcionaron la siguiente información:

- El estero el Manzano presenta el menor pH, posiblemente por la acidez contenida en el material proveniente de NOGAZ, mientras que los mayores valores se aprecian en el estero Rungue, embalse Rungue y en la vertiente El Manzano. En el caso de los dos primeros sitios se percibiría el actuar de las sales de calcio aplicadas en la zona y en el caso de la vertiente el Manzano, a su valor natural considerando que este sitio no presenta intervención humana.

La importancia del pH en el sedimento, radica en la capacidad de crear el mejor ambiente para los microorganismos encargados de los procesos de degradación de la materia orgánica y de la retención de metales pesados, evitando de esta forma, su biodisponibilidad.

Los registros de conductividad eléctrica, presentan su mayor valor en el sector de la Salida de Válvula del Embalse (2150 dS/m), muy por sobre el resto de los sitios, evidenciando la gran composición de sales de la muestra (hasta 16 veces mayor que el sitio de referencia), estableciendo claramente intervención humana.

Otro sitio que presenta datos de conductividad eléctrica altos es la zona del puente Rungue, lugar que esta directamente influenciado por las sales de calcio agregadas indiscriminadamente.

El porcentaje de materia orgánica en la vertiente El Manzano supera los registros del resto de los sitios ampliamente (3,19%), siendo esto evidente por no tener intervención humana. El estero El Manzano también presenta valores altos con respecto al sitio de referencia (referencia vertiente El Manzano) , contrariamente a lo ocurrido en la Salida de Válvula del embalse Rungue cuyo valor es el menor de todos los registros.

3.1.3.3.- Aniones

Tabla 11: Análisis de aniones en sedimentos

Concentración de aniones (mg/Kg)				
Lugar	Carbonatos	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
Esterio Rungue	34,85	95,05	0,00	1341,47
Salida de val. embalse Rungue	0,00	9,66	0,00	1187,96
Embalse Rungue	46,81	31,57	28,36	324,28
Esterio El Manzano	0,00	32,41	55,58	2350,41
Vertiente El Manzano	90,33	63,50	48,56	354,58
Puente Rungue	0,00	51,05	0,00	2233,18

Nota: El cálculo de los aniones se obtuvo de acuerdo al ejemplo 4 del Anexo D

De la tabla 11 se infiere lo siguiente:

- Los carbonatos se encuentran solo en tres sitios: estero Rungue, embalse Rungue y vertiente El Manzano. El valor referencial (Vertiente El Manzano), supera los datos registrados incluso siendo el doble del valor más cercano.
- Los cloruros se manifiestan en todos los sitios muestreados, siendo relativamente mayor en el estero Rungue (95.05 mg/Kg). En la Salida de Válvula del embalse Rungue se registra el valor menor, muy por debajo del valor de referencia utilizado (Vertiente El Manzano).
- Los nitratos se presentan solo en tres sitios: embalse Rungue, vertiente y estero El Manzano, siendo mayor en el último punto. Las diferencias observadas en éstos sitios son menores y se mantienen cercanas al valor de referencia. En el resto de los sitios muestreados no se observó signos del parámetro.
- Sulfatos: El parámetro exhibe comportamientos similares y máximos en el estero El Manzano y el puente Rungue, posiblemente por la cercanía entre ambas ubicaciones y considerando que la variable forma parte de los residuos directamente descargados por el tranque de relave minero NOGAZ. En el embalse Rungue y la vertiente El Manzano se informan los menores valores del análisis, lo que es explicado por la distancia a la que se encuentran del centro de las actividades antrópicas.

3.1.3.5.-Cationes

Tabla 12: Análisis de cationes en sedimentos

Concentración de cationes (mg/Kg)				
Lugar	Sodio	Potasio	Magnesio	Calcio
Estero Rungue	134,4	58,10	8,25	155,78
Salida de Val. Emb. Rungue	8,89	24,72	33,05	133,06
Embalse Rungue	87,12	25,05	41,23	186,95
Estero El Manzano	102,41	14,70	179,18	918,63
Vertiente El Manzano	306,43	26,90	109,62	412,26
Puente Rungue	120,11	50,21	149,12	470,27

Nota: El cálculo de la concentración de los cationes se obtuvo de acuerdo al cálculo explicado en el ejemplo 4 del Anexo D

La mayoría de los cationes estudiados (Tabla 12) forman parte del grupo de los macroelementos (Potasio, Calcio y Magnesio), que son parte importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El sodio en la vertiente el Manzano presenta los mayores valores, muy por sobre el resto de los sitios presentados, mientras que la salida de válvula del embalse Rungue se encuentra el menor. El resto de los puntos no supera los 140 mg/L.

Diferente es el caso de las concentraciones de potasio las que son bajas en el estero el Manzano, a diferencia de lo ocurrido en el Estero y del Puente Rungue donde incluso, triplican al mínimo.

El Magnesio en el estero El Manzano (179,18 mg/Kg) junto con el puente Rungue (149,12 mg/Kg) superan los valores de referencia entregados por la vertiente El Manzano (109,62 mg/Kg)

El estero Rungue cuyas aguas se encuentran cercanas a la desembocadura del estero El Manzano (que pasa por NOGAZ) por el contrario a los sitios anteriormente expuestos, tiene valores muy por debajo del valor de referencia.

Los registros de concentraciones de calcio encontrados en la zona en estudio, en general, superan a todos los valores de parámetros analizados anteriormente. El estero El Manzano presenta el valor máximo, superando indiscutiblemente al resto de los sitios. Este efecto podría ser ocasionado por la aplicación directa de sales de cal en el sitio, con el fin de estabilizar el pH. Muy distinto es lo que ocurre en la salida de válvula del embalse Rungue, donde se registra el valor mínimo

3.1.2.6.- Relación de concentraciones entre agua y sedimento

Se realizó la comparación entre ambos sistemas por medio de la conversión de unidades (explicado en el Anexo D, ecuación 5) de muestras tomadas en el sector de Rungue y analizadas según los métodos experimentales detallados en el capítulo 2.3. Los valores resultantes y la comparación entre sistemas y sitios se exhiben en las tablas 13 y 14 y su determinación se observa en el Anexo D ejemplo 4.

Tabla 13: Comparación agua - sedimento de las variables analizadas

Parámetros	Puente Rungue		Estero El Manzano		Estero Rungue	
	sedimento	agua	sedimento	agua	sedimento	agua
SO_4^{-2} (mg/L)	4057,06	190,00	1797,46	460,00	928,97	75,00
Cl^- (mg/L)	92,74	13,10	24,79	9,00	65,82	8,30
K^+ (mg/L)	91,21	3,30	11,25	0,30	40,23	1,00
Na^+ (mg/L)	218,21	15,60	78,32	14,60	93,21	20,40
Ca^{+2} (mg/L)	854,35	80,70	702,52	139,10	107,88	93,30
Mg^{+2} (mg/L)	270,92	25,20	137,03	38,90	5,71	16,70
(PO_4^{-3}) (mg/L)	0,80	0,01	1,08	0,03	0,44	0,03
$\text{N}(\text{NO}_3^-)$ (mg/L)	0,0	0,33	42,51	0,21	0,00	0,08

Nota: El cálculo de los datos se obtuvo de acuerdo al ejemplo 4 del Anexo D

Tabla 14: Comparación agua - sedimento de las variables analizadas (2º parte).

Parámetros	Embalse Rungue		Salida de válvula embalse Rungue		Vertiente El Manzano	
	sedimento	agua	sedimento	agua	sedimento	agua
SO_4^{-2} (mg/L)	242,42	475,00	1526,52	30,00	217,30	30,00
Cl^- (mg/L)	23,60	9,70	12,42	8,70	38,92	5,00
K^+ (mg/L)	18,73	2,90	31,77	2,50	16,49	1,00
Na^+ (mg/L)	65,13	13,00	11,42	10,30	187,79	8,20
Ca^{+2} (mg/L)	139,8	51,70	170,98	40,10	252,65	32,20

Mg⁺²						
(mg/L)	30,83	15,00	42,47	9,30	67,18	11,30
(PO₄⁻³)						
(mg/L)	0,57	0,01	0,45	1,02	1,64	0,11
N(NO₃⁻) (mg/L)	21,20	0,12	0,0	0,15	29,76	0,04

Nota: El cálculo de los datos se obtuvo de acuerdo al ejemplo 4 del Anexo D

- Sulfatos: El parámetro se observa alto en sedimentos muy por sobre las muestras de agua en todos los sitios muestreados a excepción de la zona del el embalse Rungue superando en aproximadamente un 50% su concentración en las aguas. Los sedimentos del puente Rungue por sobre los registros encontrados en las aguas, sugiere que la gran cantidad de sulfatos presentes allí se encuentran precipitados, superando significativamente al resto de las estaciones y presentando la mayor diferencia entre los sistemas a diferencia de lo que ocurre en el sector del embalse Rungue
- Cloruros: Se observan concentraciones bajas en comparación con el parámetro anterior. La mayor diferencia de las concentraciones entre agua y sedimentos se encuentra en el puente Rungue con una diferencia de 79,64 mg/L y la menor diferencia en la salida de válvula del embalse Rungue. Todos los sitios presentan mayores concentraciones de cloruros en sedimentos que en muestras de aguas.
- Potasio y Calcio: Forman parte de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Las concentraciones de calcio en todos los sitios, son mayores en los

sedimentos por lo cual la diferencia en el sistema agua-sedimentos ocurre de la misma forma. Las características cuantitativas y cualitativas de los aportes con sales de calcio serían los responsables de tales concentraciones en los sedimentos, aún cuando las aplicaciones no consideraban esa zona, lo que sugiere el movimiento de las sales en períodos de mayor caudal por aumento de precipitaciones ocurridas en la zona

- Sodio: Se encuentra en mayor concentración en los sedimentos de todos los sitios muestreados debido posiblemente a la capacidad de interacción que ocurre entre ambos. Las diferencias observadas entre ambos sistemas presentan un valor máximo en el sector del puente Rungue y su mínimo en la salida de válvula del embalse Rungue, confirmando la interacción.
- Nitratos: El estudio muestra concentraciones bajas del parámetro con respecto al resto de las variables y diferencias entre agua y sedimento menores que 45 mg/L en los sectores con nitratos en sedimentos (estero El Manzano, embalse Rungue y vertiente El Manzano).
- El fosfato se encuentra en mayores concentraciones en los sedimentos que en las aguas de los sitios en cuestión, salvo el sector de la salida de válvula del embalse Rungue que supera el parámetro levemente. Los valores expuestos en general son menores que los determinados como referencia

IV.- DISCUSIÓN GENERAL

1. El análisis realizado en el sector del Estero Montenegro para determinar el efecto que estaría ocasionando la presencia del relleno sanitario Lomas Los Colorados presentó lo siguiente:
 - Todas sus variables a excepción del Sodio, se encuentran bajo los límites establecidos por los requisitos máximos de la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", en específico para riego.
 - El análisis realizado entre los valores sin tratamiento de pH v/s Conductividad eléctrica (figura 13) permite establecer relación inversa entre ambas variables donde a medida que el pH disminuye en el sitio de muestreo, el valor de la conductividad aumenta. Estos resultados indican la presencia de sales en las aguas, sugiriendo aportes de parte del pueblo de Montenegro ubicado a un costado del punto de muestreo.
 - Con respecto a los metales, éstos presentaron registros de concentraciones menores a las establecidas por la norma la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", en específico para riego, lo que se mantuvo durante todo el periodo considerado.
 - Los Compuestos Nitrogenados mantienen comportamiento variable, presentando los mayores registros en el caso del nitrato cuya tendencia supera al resto. Los nitritos exhibieron tendencia negativa (-0,006 mg/L) y con registros inferiores a los

0,5 mg/L. En general las cantidades encontradas no evidenciarían la presencia de contaminantes de este tipo en el cauce del estero.

2 Las variables determinadas por medio del cálculo de promedios acumulados en los sitios contiguos al Tranque de Relave NOGAZ dieron como resultado lo siguiente

- Todas las variables se encuentran sobre los límites que establece la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", en específico para riego, en la zona del estero El Manzano, causado probablemente por el aporte de material proveniente del tranque de relave NOGAZ confluyendo de forma directa sobre las aguas de este afectando sus propiedades fisicoquímicas.
- Los valores de pH se presentan relativamente ácidos inicialmente para luego neutralizarse principalmente en zonas afectadas directamente por los aportes del tranque de relave NOGAZ (Estero El Manzano y Pozo de fábrica Batuco). La razón de tales valores es explicada por la cercanía de los puntos de muestreo a las dependencias del tranque de relave NOGAZ donde se encuentran las piscinas de decantación con material a pH bajo (menores a 5 unidades de pH). El resto de las estaciones presenta alcalinidad generada por la aplicación de sales de calcio sin la dosificación adecuada, con el fin de estabilizar el pH.
- Los sulfatos forman parte de los residuos que se generaban directamente desde los procesos realizados en el tranque de relave NOGAZ, por lo que su

concentración es superior en Estero el Manzano y el Pozo de Fábrica Batuco (lugares cercanos a la zona crítica).

- El cobre en el sector del estero El Manzano se encuentra altamente concentrado presentándose entre 4 y 9 mg/ L, con tendencia negativa de 0,34 mg/Laño y muy por sobre el máximo determinado en la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos", en específico para riego.

Debido a que el tranque de relave NOGAZ tenía como función principal la recuperación de cobre desde las aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento Las Rozas, se estima que el procedimiento no se habría efectuado de forma eficiente, considerando las altas concentraciones antes mencionadas.

- El Manganeseo presentó valores superiores a los determinados por la norma en la zona del estero El Manzano (entre 10 a 20 mg/L), la salida de válvula del embalse Rungue (entre 3 y 4,5 mg/L) y el embalse Rungue (entre 0 y 0,7 mg/L superando levemente el valor de la norma), siendo este el orden de mayor a menor de concentraciones del parámetro. El estero El Manzano muestra una situación particular dada por la excesiva concentración de manganeseo presente en tal sitio durante todo el período considerado, por tanto se sugiere que la procedencia de este, provendría del tranque de relave minero NOGAZ, que se encuentra muy cercano al estero (100 metros aproximadamente) y considerando que tal parámetro estaría implicado en los procesos allí realizados.

La salida de válvula del embalse Rungue, como se mencionó anteriormente, también presenta niveles altos de concentración del parámetro lo que sugiere resuspensión del material sedimentado, por efecto de los variados movimientos

de los compuestos o el causado en la operación de la válvula. Este efecto es natural producto de los años de operación del embalse y de la cantidad de sedimentos acumulados.

- El hierro mantiene comportamiento constante durante el año 2003 y 2004 en el sector del estero El Manzano cuya tendencia posterior a esta fecha presenta disminución de la concentración a razón de 0,46 mg/Laño superando excesivamente el valor de la norma utilizada como referencia en este trabajo (10 mg/L). La salida de válvula del embalse Rungue, a diferencia del punto anterior aumenta sus concentraciones a razón de 0,44 mg/Laño con máximos constantes en el período 2005- 2006 todos los registros bajo el máximo recomendado por la N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos".
- El aluminio presenta similar comportamiento que los metales anteriormente estudiados cuyos registros máximos son observados en el estero El Manzano presumiblemente por formar parte del proceso del tranque de relave minero NOGAZ y por el grado de acidez encontrado en la zona, causando la solubilidad del parámetro.

Influencia de las precipitaciones en el sistema indicó lo siguiente:

El análisis realizado con respecto a la influencia de las precipitaciones sobre la conductividad eléctrica encontrada en las aguas de los sitios muestreados arrojó como resultado que el efecto no se observa con claridad, aún cuando los niveles de conductividad en el estero El Manzano superan en todo el periodo a los entregados

por la vertiente El Manzano. Se observan máximos en los cuales coincide con el aumento de la conductividad eléctrica, pero otros en las precipitaciones no afectaron los niveles de la variable por lo que tal relación ocurriría de forma casual sin necesariamente representar el efecto estudiado.

3 El análisis realizado a los sedimentos del lugar indican lo siguiente:

- Los valores de pH encontrados en la mayoría de los sedimentos sugieren normalidad en sus valores a diferencia de lo ocurrido en el estero El Manzano cuyo registro se observa menor al resto (6,4 unidades de pH). El motivo de tales variaciones radica en la influencia generada por la aplicación de sales de calcio, siendo el sitio de aplicación el estero Rungue, lugar desde el cual es suministrado hacia los afluentes y las dependencias del embalse Rungue. El estero El Manzano se encuentra excluido de tales aplicaciones por lo tanto y considerando que es el sitio directamente afectado por el material residual del tranque contiene valores de pH relativamente ácidos.
- La conductividad eléctrica concentra el valor más alto en la zona de salida de válvula del embalse Rungue (2150 dS/m) lo que podría explicarse por la alta concentración de metales en la zona. El puente Rungue también exhibe altos registros de la variable explicado por la precipitación de material en el sitio.
- El porcentaje de materia orgánica en la zona debería tener similitud con el valor utilizado como referencia (3,19% en vertiente El Manzano), lo que no sucede así en el resto de los sitios posiblemente por el escaso ambiente necesario para su

formación (alta concentración de metales y aplicaciones indiscriminadas de sales de calcio).

- Los carbonatos se presentan máximos en la zona de la vertiente El Manzano, lo que podría presumiría que su origen pudiese ser litogénico. La salida de válvula del embalse Rungue, el estero El Manzano y el puente Rungue no presentaron concentraciones dentro de los límites de detección.
- El cloruro en el sector del estero Rungue presenta la mayor concentración (95.05 mg/L), lo que podría ser originado por la cercanía de estero al pueblo de Rungue, fuente principal del parámetro.
- Los nitratos cuyo aporte no sería perjudicial en las aguas para regadío sólo fueron encontrados en el embalse Rungue, vertiente El Manzano y estero El Manzano.
- Los sulfatos superaron ampliamente las concentraciones con respecto al sitio utilizado como referencia (Vertiente El Manzano) en la mayoría de los puntos muestreados. El estero El Manzano y el puente Rungue presentaron los niveles más altos de concentraciones del parámetro causado directamente por el aporte de material proveniente del tranque de relave minero NOGAZ (reacción 10 y 11, Anexo, C páginas 115).
- Los niveles de sodio en general se observan menores que los expuestos por el sitio escogido como referencia (vertiente El Manzano) lo que sugiere origen litogénico.

Con respecto a la comparación entre sistemas (agua y sedimentos) se obtuvo lo siguiente:

- Los niveles de pH se presentaron menores en sedimentos que en las muestras de agua en la mayoría de los sitios. Valores diferentes a tales resultados, sugieren el bajo caudal encontrado en el sitio por tanto mayor nivel de oxigenación en los sedimentos disminuyendo el ambiente reductor. Es importante mencionar que las mediciones de pH en sedimentos no fueron realizadas *in situ*, debido a que no era factible por la complejidad de acceso del lugar.
- En general, la relación presentada entre las muestras de agua y sedimentos, presenta mayor cantidad de concentración de parámetros en los sedimentos, lo que podría atribuirse a la alcalinización forzada aplicada para incitar la precipitación de material ácido proveniente del tranque de relave NOGAZ. Tal cantidad de sales de calcio ha generado en el tiempo acumulación de material precipitado año tras año, presentando riesgo ambiental en caso de variaciones de pH (acidificación accidental).

V.- CONCLUSIONES

De acuerdo al primer objetivo planteado se estableció que la calidad de las aguas del embalse Rungue, se ha visto afectada por el desarrollo de actividades antrópicas, específicamente por el tranque de relave NOGAZ cuyo cierre de operaciones no se realizó adecuadamente, superando los parámetros estudiados los límites establecidos por la N.Ch. 1333/of. 1978 “Calidad del Agua para diferentes Usos”.

El segundo objetivo planteaba el análisis espacio temporal de las variables en el período 2002 – 2008, lo que evidenció las altas concentraciones de Sulfatos, Hierro, Aluminio, Manganeso y Cobre principalmente en el sector del estero El Manzano, afluente principal de la descarga de material procedente del tranque de relave minero contiguo.

También éste análisis permitió establecer que cada parámetro mencionado anteriormente presenta tendencias negativas, por lo que las concentraciones en las aguas del embalse disminuirían progresivamente.

El tercer objetivo implica el estudio de los sedimentos de sitios aledaños a las zonas relevantes en este trabajo con el fin de establecer su estado.

Se determinó que los sedimentos concentran gran parte del material proveniente del tranque de relave minero ubicado en las cercanías de los afluentes del embalse. Esto, debido al efecto producido por la aplicación desmedida de sales de calcio en el sector del estero Rungue. La finalidad de estas aplicaciones consistía en la precipitación de

especies solubles y así cumplir con los límites establecidos por la N.Ch. 1333 en aguas, sin considerar que de esta forma sólo se consigue controlar el problema pero no eliminarlo.

El cuarto objetivo, relaciona la calidad de las aguas del embalse con respecto al tipo de residuo generado por cada actividad antrópica realizada en la zona. La conclusión obtenida determina que la principal fuente antrópica que aporta material a los afluentes del embalse Rungue, es el tranque de relave minero NOGAZ cuyos efectos comenzaron luego de la rotura de una de sus piscinas de decantación repleta con material residual, como fue detallado anteriormente. Tal influencia como se vió en los análisis anteriores persiste en la actualidad

El quinto objetivo establece el tipo de residuo generado por los procesos del tranque de relave minero NOGAZ con respecto a lo encontrado en las aguas de los afluentes, lo que, según la información obtenida, estarían directamente relacionados. Según las reacciones descritas (reacciones 10 y 11, Anexo C pagina 115), el proceso realizado por el tranque de relave generó residuos como: sulfatos de hierro, cobre, manganeso y aluminio principalmente como iones, que al ser sometidos a las aplicaciones de sales de calcio daría como resultado el aumento de pH hasta valores alcalinos (entre 8 y 10 unidades de pH) y con esto, la posterior precipitación de los compuestos. Esta precipitación estaría determinada por las constantes de solubilidad de cada compuesto (Anexo D tabla 25) a valores de pH alcalinos, logrando establecer con esto, el siguiente orden de precipitación: Fe, Al, Cu, Mn.

VI.- SUGERENCIAS

Basándose en los resultados obtenidos en el presente trabajo, a continuación se proporcionan algunas sugerencias que podrían ser abordadas en futuros estudios o en la toma de medidas a adoptar, con el fin de aportar con el mejoramiento de las condiciones de las aguas para los usos en el sector:

- Llevar a cabo el cierre efectivo y eficiente del tranque de relave NOGAZ y realizar un constante monitoreo de las aguas cercano al estero el Manzano (posterior al tranque de relave), con el fin de generar estancamiento del escurrimiento de material actual y la posterior verificación para que esto se cumpla.
- Coordinar medidas de limpieza de sedimento en el estero Rungue para evitar la redisolución de material que se encuentra precipitado en la zona.
- Realizar un estudio que considere el porcentaje de absorción de los metales por las plantas y su tiempo permanencia en ellas con la finalidad de conocer el estado actual y la calidad de los productos que son comercializados.
- Evaluar el procedimiento de alcalinización que se realiza en la zona considerando aspectos importantes como: dosificación, zona de adición, mezcla de las sales y efectos secundarios.

- Considerar los usos secundarios que tienen las aguas tanto del embalse Rungue como de sus afluentes (uso como bebida de animales).

6.1.- Propuesta de remediación de aguas existente

La contaminación por metales pesados en las aguas, causa un aumento significativo de concentración de estos en los sedimentos, los cuales están en constante cambio de fase dado por los cambios de pH que se registran en el cuerpo de agua.

La necesidad de evitar, controlar o remediar esta situación recae principalmente en los efectos producidos sobre las plantas, principalmente las que son de consumo humano las que podrían ver afectado su crecimiento y rendimiento causado por la absorción de metales que estas ejercen sobre las aguas (en este caso contaminadas), causando posibles efectos perjudiciales en el hombre.

El objetivo de éste punto principalmente es exponer tratamientos efectivos para la limpieza de aguas superficiales, disminuyendo efectos secundarios, priorizando su eficiencia sobre aspectos económicos.

En la actualidad se conocen distintos métodos tanto químicos como biológicos con distintos niveles de efectividad en la descontaminación de sedimentos y de aguas:

La más utilizada de las metodologías es la que actualmente se lleva a cabo en la zona de estudio, el uso de hidróxido de calcio, cuyo efecto es aumentar el pH de las aguas, inmovilizando por medio de la precipitación los metales pesados que se encuentran solubles, aún cuando el riesgo de resuspensión de los compuestos es alto (debido a variaciones de pH que permitan solubilizar compuestos que se encuentren precipitados).

En otros casos sirve el desarrollo de procesos físicos aplicados en zonas restringidas como el dragado del fondo de un reservorio de agua a lo que posteriormente se le aplica tratamientos con ácido o con agentes quelantes, los que producirían la redisolución de los contaminantes y su eliminación por lixiviación del sólido. Los sedimentos limpios podrían ser reutilizados como abono a los suelos en cualquier tipo plantaciones o ser devuelto al embalse.

Otro procedimiento corresponde a la utilización de organismos vivos, microorganismos en especial bacterias y hongos en aguas (biorremediación), cuya tarea sería la degradación de residuos ambientales simples y bajos en toxicidad. Los organismos utilizados son específicos para cada caso por lo cual es necesario el estudio previo para aumentar la eficiencia del método (Baird y Colin, 2001). El uso de ésta técnica y su eficiencia radica en tres puntos importantes:

- Capacidad del residuo de ser susceptible a biodegradarse biológicamente y debe estar físicamente disponible para los microorganismos.
- Deben estar disponibles los microorganismos apropiados debido a la especificidad necesaria.
- Que las condiciones ambientales (pH, temperatura y nivel de oxígeno) sean apropiados.

El último método considerado como sugerencia es el que utiliza plantas acuáticas para el tratamiento de las aguas.

Existe una variedad de tipos de plantas que sirven para la eliminación de metales, pero se destaca entre ellas la Lenteja de Agua o Duckweed cuyas propiedades la definen como la más resistente a los distintos climas en especial a las bajas temperaturas. Su mecanismo de eliminación es la precipitación química y la posterior incorporación a los lodos bentónicos.

Ha sido probada para la eliminación de metales como el Zinc, Cobre, Cromo, Cadmio, Niquel y Plata con excelentes resultados (Sherwood y col; 1995)

Determinar cuál es el mejor proceso o el más eficiente dependerá necesariamente de las condiciones de la zona y muchas veces será necesario realizar procesos complementarios con el fin de potenciarlos solucionando de forma rápida y fácil la remediación.

VII.- REFERENCIAS

- Aguilar San Juan M. (1999), "Introducción a los Equilibrios Iónicos", Editorial Reverté, Segunda Edición, pp. 203- 217.
- Alarcón Campos R. (2004), "Estudio preliminar de elementos de riesgo ambiental asociados a tranques de relaves" memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Geografía, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago, pp 7-14, 28-48.
- Baird, Colin y col., (2001). Química Ambiental. Editorial Reverté, suelos y sedimentos. pp. 558 – 561.
- Bastías, L. (2002), "Estudio de la estabilidad química de los relaves de flotación y de las escorias de fundición", seminario de título para optar al título de Químico Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile (Diciembre), pp. 6-7, 14-19.
- Cabello L. José (1980), "Estudio geológico del Proyecto Tiltit-Rungue-Montenegro, Área Metropolitana", pp. 1-2.
- CONAMA RM (1997), "Mapa Sector de Rungue", Área de Ordenamiento territorial. Fuente Cartográfica Ortofoto 1: 20.000 Área Metropolitana año 1997. Escala 1: 50.000, equivalencia 1 cm. En el mapa equivale a 500m en el terreno.
- Entrevista llevada a cabo en las dependencias de CONAMA y realizada a Verónica Rodríguez jefa (s) del Área de Recursos Naturales y Ordenamiento Territorial de CONAMA Metropolitana, 10/09/08
- Evert, Raven & Eichhorn (1992), "Biología de las plantas" Edición ilustrada, Editor Reverte, pp. 518-520.
- Fernández, E. (2001), "Movimiento y atenuación de líquidos percolados en un medio poroso saturado", memoria para optar a título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. de Chile (Septiembre), pp. 4-6.
- Glynn Henry J., Burton I. (1999), "Ingeniería Ambiental", Editorial Pearson, Segunda Edición, traducido por Héctor Javier Escalona, pp 421- 490.
- <http://biblioteca.ucv.cl/poseidon/libros/libro1/bibliografia.html>. "Sedimentología" Vol. I y II A.Anche A.(1992), Consejo Superior de Ciencias-España, 23/3/09, 19:04.
- http://www.conama.es/eima/apor_urbaser.pdf, "KDM, Grupo Urbaser-Kiasa" 26/11/08, 12:36.
- <http://www.kdm.cl/index.php/galeria-imagenes-texto/44-galeria-imagenes/191-relleno-loma-los-colorados.html>, " Imágenes Relleno Sanitario KDM, Loma Los Colorados" , 02/12/08, 16:30.

- http://www.sernageomin.cl/index.php?plantilla=categoria&option=com_content&task=section&id=12&Itemid=7, "Pasivos Ambientales", 11/11/08, 15:36.
- <http://territorial.sinia.cl/portal/inicio.php>, SINIA, Información Geográfica Territorial Regional, 25/03/09, 11:38.
- IDIEM-Geotecnia () Embalses para riego: Operación, Seguridad y Seguimiento. Informe final Embalse Rungue", pp 1-4.
- instituto de investigaciones AOPECUARIAS (INIA). 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, DGA (1978), "Determinación de tasas de uso racional y beneficioso en la zona regada por el Embalse Rungue", Departamento de estudios y racionalización, pp. 1-13.
- Ministerio de Obras Públicas (1994), "Embalse Rungue: características generales de las obras", dirección de Riego.
- Ministerio de Salud (1984), "Norma Chilena Oficial N° 409/, of. 84", Decreto Supremo N° 11 del 16/ 01/ 1984. Agua Potable.
- Ministerio de Obras Públicas (1978), "Norma Chilena Oficial N° 1333". Agua para diferentes usos.
- Ronald J. y col, (1988). "Química", Edición Ilustrada, Editorial Reverte, pp. 708-717.
- S. Clesceri y col., (1998), "Standard Methods" for Examination of Water and Wastewater. Metodologías para análisis utilizado por el Laboratorio de la DGA. 20th Edition.
- Sherwood C. Reed y col.,(1995) "Natural Systems for Waste Management and Treatment". Segunda edición, McGraw-Hill,pp 133 –171.
- Solar Fornazzari J.(2002), " Estudio fenomenológico de la recuperación de un residuo industrial líquido minero ácido. Depto. Ing. Química. U de Chile. pp 23-26.
- UNESCO (1984), "Embalses, Fotosíntesis y Productividad Primaria". Basado en el curso-taller realizado en la Universidad de Chile (Enero 1983), pp. 11-39.
- Urrutia, M. (2005), "Producción de líquidos lixiviados en un relleno sanitario. Caso del relleno sanitario santiago poniente", memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile (Agosto), pp. 37-54.
- Zamudio Cañas, E. (2007), "Estudio y proposición de una solución al problema de los altos índices de sulfatos en las aguas", memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Obras civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago, pp. 6-14.

VIII.-ANEXOS

ANEXO A: “Estándares de Calidad de Aguas para Distintos Usos”

Normativa Legal

La normativa legal actual permite establecer límites o referentes a los parámetros que puedan presenta riego al hombre de forma directa e indirectamente.

N.Ch. 1333/of. 1978 "Calidad del Agua para diferentes Usos"

Tabla 15: Requisitos máximos Norma chilena 1333

Norma N.Ch. 1333 (Agua para riego)		
Parámetros	Unidad	Máximo permitido
Aluminio	mg/L	5,00
Arsénico	mg/L	0,10
Bario	mg/L	4,00
Berilio	mg/L	0,10
Boro	mg/L	0,75
Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro	mg/L	0,20
Cloruro	mg/L	200
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,20
Cromo	mg/L	0,10
Fluoruro	mg/L	1,00
Hierro	mg/L	5,00
Litio	mg/L	2,50
Manganeso	mg/L	0,20
Mercurio	mg/L	0,001
Molibdeno	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,20
pH	unidad de pH	5,5 - 9,0
Plata	mg/L	0,20
Plomo	mg/L	5,00
Selenio	mg/L	0,02
Sodio	%	35
Sulfato	mg/L	250
Vanadio	mg/L	0,10
Zinc	mg/L	2,00
RAS	-	-
Conductividad	mho/cm	-
Sólidos Disueltos	mg/L	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1000

ANEXO B: Imágenes del trabajo

a) Instalaciones y procesos de KDM



Figura 31: Compactación de residuos sólidos



Figura 32: Transporte vía tren de celdas con residuos compactados



Figura 33: Disposición de los residuos en relleno sanitario



Figura 34: Sedimentador



Figura 35: Proceso Aeróbico

b) Dependencias NOGAZ



Figura 36 : Dependencias de empresa NOGAZ

b) Tratamiento con sales de Calcio



Figura 37: Brazo izquierdo Estero Rungue



Figura 38: Sales de calcio en Estero Rungue

ANEXO C: “Procesos asociados a la problemática”

Relleno Sanitario Lomas Los Colorados

Disposición y manejo de residuos sólidos en el relleno sanitario Lomas Los Colorados

La contención inicial de los residuos en el relleno sanitario, se lleva a cabo en celdas que están previamente selladas en su base por siete capas encargadas de la protección tanto del suelo como de acuíferos que se puedan encontrar cercanos. En orden ascendente son:

- Arcilla compactada
- Membrana de HDPE (high density poliethylene) de 1,5 milímetros de espesor
- Geotextil de 16 onzas/yarda cuadrada
- Una capa de grava lavada de canto rodado
- Tuberías de recolección y conducción de líquidos percolados
- Geotextil de 8 onzas/yarda cuadrada, cuya función es filtrar todo aquel material particulado fino que pudiera obstruir el sistema de drenajes y control de los líquidos percolados.
- Protección de suelo de 60 centímetros de espesor que permite trabajar sobre este sello basal con maquinaria diseñada, especialmente para la disposición y compactación de los residuos.

Los desechos son dispuestos en este lugar (Anexo A, Figura 31), tras lo cual son esparcidos para posteriormente ser compactados llegando a densidades de 1 a 1,2 toneladas por metro cúbico. (KDM , 2002)

Tratamiento de lixiviados

Posterior a la disposición de sólidos, se generan líquidos provenientes de residuos como resultado de reacciones químicas producidas allí. Estos, son captados y transportados por tuberías dispuestas bajo las celdas, (hasta donde llegan por efecto de la gravedad) hacia piscinas de decantación de lixiviados.

Clasificación de lixiviados

La composición de los lixiviados, comúnmente depende de las características de los desechos depositados en el relleno sanitario (que son función de la magnitud y características de la población servida), aspectos climatológicos e hidrológicos, grado de estabilización y manejo del relleno sanitario. Sin embargo, una clasificación general que suele ser menos específica es el origen de los desechos, lo que viene dado por:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| - Materia Orgánica | - Metales |
| - Papeles y Cartones | - Huesos |
| - Escombros y Cenizas | - Vidrios |
| - Plásticos | - Pañales - toallas |
| - Textiles | - Madera |

Debido a que la clasificación anterior es una descripción general de los lixiviados se estableció la subcategoría que considera al 97% de residuos generados podría ser caracterizado considerando que la mayor parte de los residuos que se reciben corresponderían a origen domiciliario o asimilables a domiciliarios. Los cuatro grupos principales corresponderían a:

1.- Materia Orgánica: Expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO) o como Carbono Orgánico Total (COT), que incluye ácidos grasos volátiles (en particular, presentes en los líquidos percolados en fase ácida donde se estabiliza la materia orgánica) y compuestos refractarios (compuestos fúlvicos y húmicos).

2.- Compuestos Orgánicos Específicos: Se originan en el hogar o en la industria química y en general se presentan en bajas concentraciones en el percolado, usualmente menos de 1 mg/L. En este grupo se incluye una serie de compuestos aromáticos, fenoles y cloruros alifáticos.

3.- Macro componentes Inorgánicos: Dentro de este grupo los más importantes son los iones; Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Sodio (Na^+), Potasio (K^+), Amonio (NH_4^+), Hierro (Fe^{+2}), Manganeseo (Mn^{+2}), Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{-2}) y Bicarbonato (HCO_3^-).

4.- Metales Pesados: Dentro de este grupo se pueden nombrar algunos compuestos tales como; Cadmio(Cd), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cobalto (Co) y Cromo (Cr).

El resto de los compuestos existentes se encuentra en proporciones menores los que serían considerados compuestos secundarios. (Fernández, E. 2001)

En este sector se llevan a cabo 4 tratamientos:

- Tratamiento Primario
- Tratamiento Secundario
- Tratamiento Terciario
- Tratamiento Químico

Tratamiento Primario

- Tratamiento de sedimentación: Se lleva a cabo con sedimentadores (Anexo A, Figura 36), los cuales producen la reducción material suspendido por medio de fenómenos de precipitación sirviendo como apoyo para los procesos siguientes.

Tratamiento Secundario

Se emplea para eliminar la contaminación orgánica disuelta por medio de dos tratamientos

- Tratamiento anaeróbico: Se desarrolla en una piscina de 17.470 m³ previamente impermeabilizada con doble membrana de polietileno de alta densidad, donde se

produce la degradación anaerobia del material, disminuyendo en un 20% la carga orgánica total en 46 días.

- Tratamiento aeróbico: Consecutivamente al tratamiento anterior se encuentra la aplicación forzada de oxígeno por medio de difusores de membrana BIOFUSER, por un período de 30 días, logrando la oxidación de la materia orgánica (Anexo A, Figura 35).

Tratamiento Químico

Terminando éstos procesos se continúa tratando los líquidos en un estanque de 7m³ para luego:

- Estabilizar el pH para hacer precipitar los metales pesados.
- Desinfectar con hipoclorito para disminuir los microorganismos patógenos.
- Adicionar polímeros para coagular y/o flocular los contaminantes.
- Filtrar con carbón activado para proteger el filtro de osmosis inversa, eliminar el cloro libre residual y las trazas de materia orgánica que quedan.

Tratamiento Terciario

El próximo tratamiento implica la mezcla de los procesos anteriores con el fin de eliminar contaminantes específicos del residuo lixiviado, para esto se recurre al paso por la Planta de Osmosis Inversa, cuyos principales objetivos son:

- Filtración de sólidos y metales pesados
- Disminución del contenido de cloruros
-

Las aguas obtenidas finalmente son destinadas a riego ya que cumplen con la normativa legal para este uso.

c) Tratamiento de lodos

Los lodos generados en el proceso anterior son tratados en la planta, de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Espesamiento de lodos a través de un tambor rotatorio
- Deshidratado de lodos a través de un filtro de banda
- Disposición de los lodos deshidratados.

Tranque de Relave REFIMET

Descripción de los procesos de REFIMET

El tratamiento realizado en las instalaciones de REFIMET tenían la finalidad principal de extraer el arsénico contenido en material proveniente de la minera el Indio (IV Región) recuperado como un subproducto del procesamiento de ciertos minerales complejos, principalmente cobre, cobalto, oro, dependiendo su producción y de la demanda que presenten estos metales.

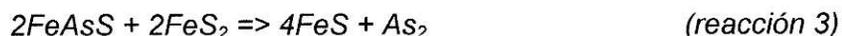
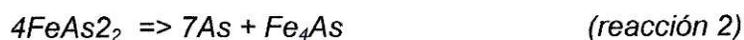
Se llevaba a cabo el proceso de tostación de un concentrado (o mena) con predominancia de arsenopirita, el cual consistía en la aplicación de calor bajo condiciones controladas para extraer arsénico por sublimación consiguiendo un grado de pureza cercano al 95%, llegando hasta al 99% si se llevan a cabo sublimaciones múltiples. El porcentaje restante pertenecería a impurezas de sulfuro de arsénico, azufre, óxido antimonioso y otras escorias.

Las instalaciones del tranque de relave para realizar tales procesos contaban con:

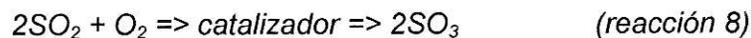
- Horno de tostación
- Cámara de enfriamiento de gases
- Cámara de disposición de polvos
- Chimenea de ladrillo

El procedimiento podía llevarse a cabo de dos formas:

- A) Oxidación parcial por tostación. El concentrado era sometido a tostación considerando un flujo de aire restringido y una temperatura aproximada de 450 °C (dependiendo de las características particulares de la mena, la oxidación será sólo parcial). A estas condiciones, el arsénico se oxidaba para formar el óxido arsenioso altamente volátil (reacciones 1,2,3 y 4)



- B) Oxidación completa por tostación: El concentrado era sometido a tostación con abundante flujo de aire y a una temperatura superior de 650°C, donde la mayor parte del arsénico podía removerse como un óxido arsenioso volátil, pero también se formaría algo de arseniato férrico (reacciones 5,6,7,8, y 9)



Las aguas generadas se transportaban en camiones aljibes hasta 4 de las 5 piscinas de evaporación impermeabilizadas. El material se disponía en este sector y se cubrían

con revestimiento impermeabilizante y luego se aplicaba una capa de tierra (Arias, V; Coronado, R. 2005).

Tranque de Relave Minero NOGAZ

Previo al tratamiento que se realiza en el tranque de relave minero NOGAZ, el material a tratar proviene de la planta purificadora de aguas Las Rosas encargada de tratar los residuos líquidos producidos en tratamientos realizados por la división El Teniente, con la finalidad de purificarlos para poder descargarlos al cauce del río Cachapoal.

Para ello, las aguas eran sometidas a pH altos por medio de la aplicación de Sales de Calcio, produciendo la precipitación de sales que se encontraban en solución, dejándolas aptas para su posterior desague.

Los precipitados producidos, eran empacados y enviados en camiones hasta las dependencias del tranque de relave NOGAZ para ser procesados.

Procesos realizados en el Tranque de Relave minero NOGAZ

En las instalaciones de NOGAZ el material precipitado proveniente de la planta purificadora de agua Las Rozas, rico en Hidróxidos de Cobre, de Manganeso, de Magnesio, de Aluminio y de Zinc, era sometido a procesos de molienda con agua y lixiviación con ácido sulfúrico para aumentar el pH y solubilizar las sales del precipitado.

El material resultante reaccionaba con chatarra de hierro y se obtenía un precipitado de cobre altamente puro llamado Blister que era posteriormente comercializado. El proceso se describe en el esquema de la figura 10.

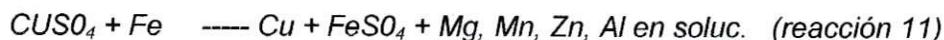
Las reacciones químicas implicadas en el proceso se presentan a continuación:

(1º) Lixiviación: El cobre es recuperado con ácido sulfúrico quedando como sulfato, mientras que el resto permanece en solución.



Los residuos sólidos generados en este primer paso, llamados también ripios finos de lixiviación, eran lavados y así neutralizados para posteriormente ser depositados en celdas diseñadas para su contención.

(2º) Precipitación de cobre: Se producía la precipitación de cobre con chatarra de hierro, quedando como sulfato ferroso



Los residuos generados en este segundo paso, eran depositados en piscinas de evaporación sin algún otro procedimiento.

ANEXO D: “Cálculo de parámetros en sedimentos”

CÁLCULO DE PARÁMETROS MEDIDOS EN SEDIMENTOS

Las muestras de sedimentos obtenidas en los distintos sitios de la localidad de Rungue fueron tratadas por medio de distintos procedimientos, los cuales fueron descritos anteriormente (capítulo 2.3).

Por medio de análisis matemático se logró obtener las concentraciones para cada parámetro. Las ecuaciones y el procedimiento de cada parámetro se muestran a continuación.

a) Factor de humedad

Debido a que la variable del fh es requerida en la mayoría de los cálculos, será desarrollada previo al cálculo de los parámetros.

El procedimiento detallado del tratamiento de la muestra se desarrollo en el capítulo 4.2.7, donde se obtuvo valores para cada variable en la ecuación.

$$humedad(\%) = \frac{a-b}{b-c} * 100$$

$$fh = \frac{100 + humedad(\%)}{100}$$

Donde:

a: peso en gramos de sedimento seco al aire + recipiente

b: peso en gramos de sedimento seco a 105 °C + recipiente

c: peso en gramos del recipiente

Los datos obtenidos se registraron y se exhiben a continuación:

Tabla 16: Datos para cálculo del factor de humedad

Lugar	a	b	c
Puente Rungue	9,13	9,11	8,82
Embalse Rungue	9,27	9,26	9,07
Estero Rungue	9,30	9,30	8,96
Estero El Manzano	8,98	8,97	8,72
Vertiente el Manzano	9,34	9,34	8,96
Salida Válvula Emb. Rungue	9,04	9,03	8,80

La determinación del valor del factor de humedad en la muestra se ejemplifica a continuación:

Ejemplo N° 1

Calculo del factor de humedad para el punto de muestreo ubicado en el Puente Rungue.

$$humedad(\%) = \frac{a-b}{b-c} * 100 = \frac{9,13-9,11}{9,11-8,82} * 100 = 4,82$$

$$fh = \frac{100 + humedad(\%)}{100} = \frac{100 + 4,82}{100} = 1,05$$

Tabla 17: Porcentaje y factor de humedad

Lugar	% humedad	fh
Puente Rungue	4,82	1,05
Embalse Rungue	5,24	1,05
Pueblo Rungue	2,07	1,02
Estero El Manzano	2,42	1,02
Vertiente El Manzano	1,86	1,02
Salida válvula Emb. Rungue	6,44	1,06

b) Materia Orgánica

Tras la preparación de las muestras (1 blanco, 1 muestra y 2 contramuestras) y la posterior titulación con FeSO_4 para cada una de ellas descrita en el capítulo 2.3.5 Se procedió al cálculo matemático que relaciona las variables obtenidas por medio de las siguientes formulas:

$$C(\%) = \frac{V1 - V2}{S} * M * 0,39 * fh$$

Donde:

V1 : mL de solución de sulfato ferroso gastados en el blanco

V2 : mL de solución de sulfato ferroso gastados en la muestra

M : molaridad de la solución de sulfato ferroso

0,39: $3 * 100 * 1,3/1000$

S : peso en g de la muestra seca al aire

fh : factor de humedad

1,724: factor empírico de conversión de carbono a materia orgánica

Para la obtención de V2 se calculó la segunda derivada de los valores de conductividad registrados para cada volumen de sulfato ferroso gastado. Cada muestra tuvo 2 contramuestras para disminuir el margen de error en el proceso.

Los datos obtenidos se registraron y se exhiben a continuación:

Tabla 18: Datos obtenidos para cálculo del porcentaje de materia orgánica

Lugar	S muestra (g)	V muestra(mL)	fh
Puente Rungue	0,50	11,90	1,05
Embalse Rungue	0,50	10,90	1,05
Estero Rungue	0,50	13,50	1,02
Estero El Manzano	0,50	10,42	1,02
Vertiente El Manzano	0,50	5,50	1,02
Salida Válvula Emb. Rungue	0,50	12,10	1,06

Ejemplo 2:

Cálculo del volumen de equivalencia para la muestra patrón

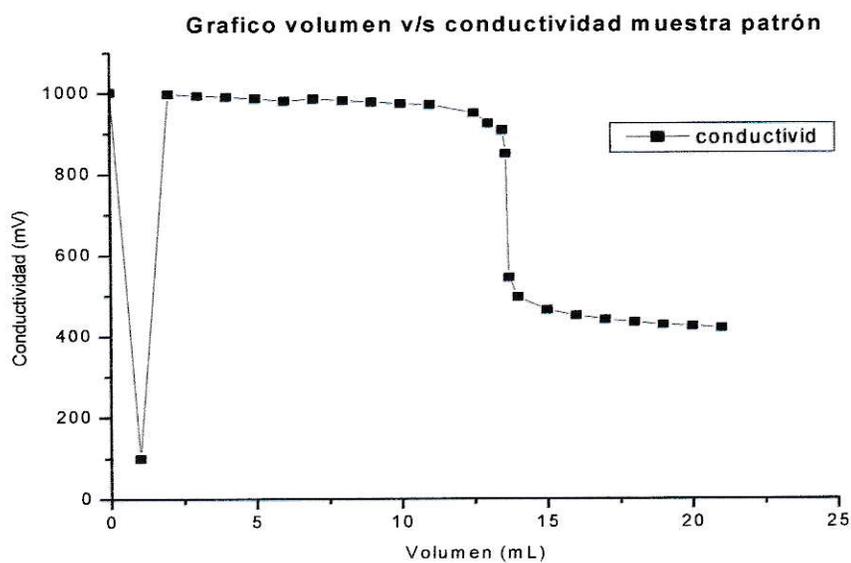


Figura 39: Gráfica del comportamiento de conductividad a distintos volúmenes en muestra patrón.

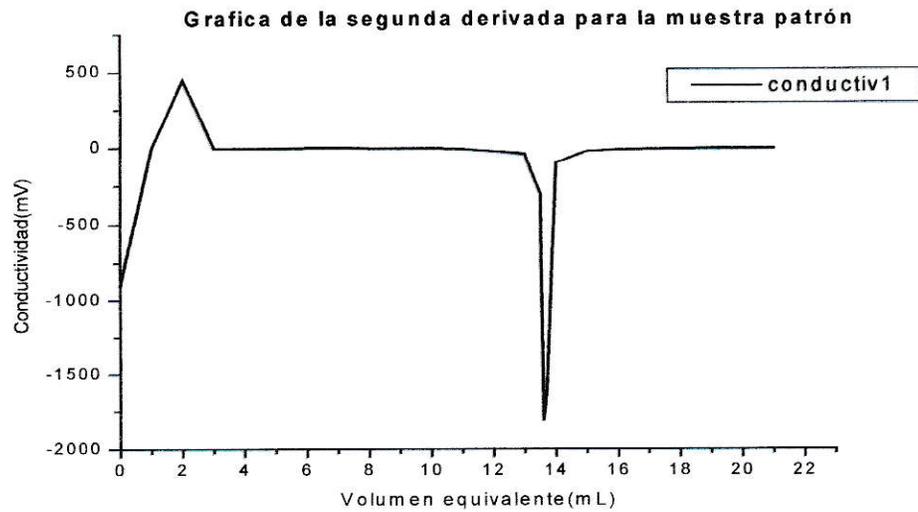


Figura 40: Gráfico de la segunda derivada de la muestra patrón

Cálculo del volumen de equivalencia para la muestra en Puente Rungue

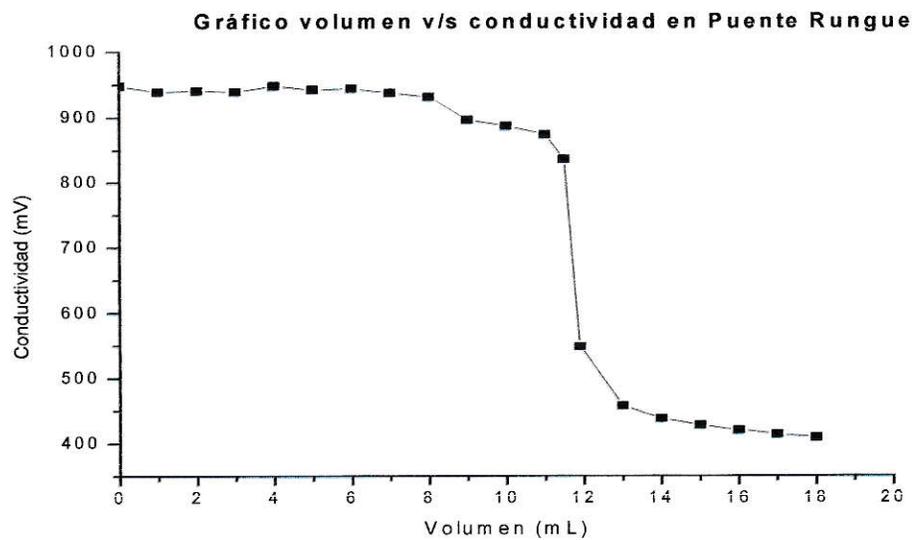


Figura 41: Gráfica del comportamiento de conductividad a distintos volúmenes de muestra en Puente Rungue

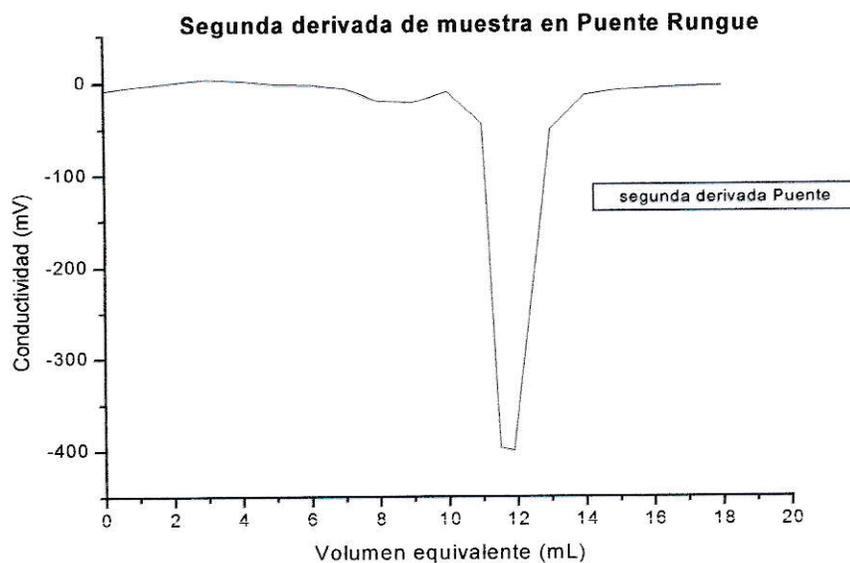


Figura 42: Gráfico de la segunda derivada de la muestra en Puente Rungue

De los cálculos realizados se obtuvo los siguientes datos

V1: 13,7mL
 V2: 11,9 mL
 M: 0,5 M
 S: 0,5g
 fh: 1,05

Luego, según la ecuación se obtiene el porcentaje de carbono

$$C(\%) = \frac{13,7 - 11,9}{0,5} * 0,5 * 0,39 * 1,05 = 0,74$$

Y por medio de éste resultado se llega a la cantidad de materia orgánica con la relación
 Materia Orgánica (%) = 1,724 * 0,73 = 1,26

Los resultados obtenidos para cada una de las muestras se exhiben en la Tabla 22

Tabla 19: Materia Orgánica y porcentaje de Carbono total en muestras de sedimentos.

Lugar	C(%)	MO(%)
Puente Rungue	0,73	1,26
Embalse Rungue	1,14	1,97
Estero Rungue	0,07	0,13
Estero El Manzano	1,31	2,25
Vertiente El Manzano	3,25	5,60
Salida Válvula Emb. Rungue	0,66	1,14

c) Fósforo soluble

El fósforo soluble se mide a través de espectrofotometría UV-Visible, para lo cual se realizó una curva de calibración que dio el siguiente resultado:

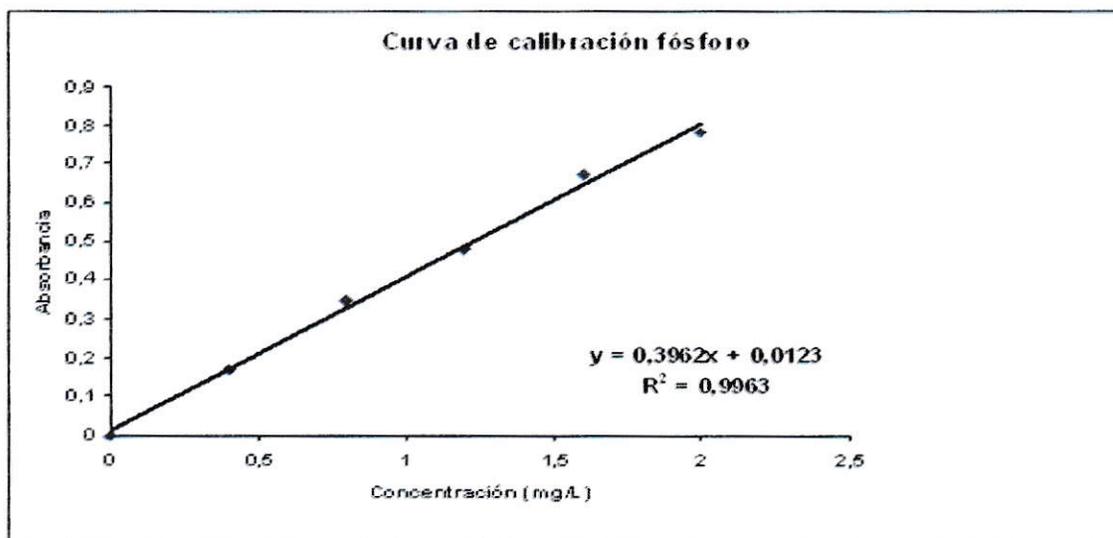


Figura 43: Curva de calibración para determinación de fósforo soluble

Cada dato de cada sitio muestreado fue sometido al espectrofotómetro UV-Visible tras lo cual se midió su absorbancia para luego someterla a la ecuación determinada por la curva de calibración expuesta anteriormente (Figura 44). La tabla 23 exhibe los resultados obtenidos.

Tabla 20: Datos de absorbancia y concentración de fósforo soluble en muestras de sedimentos

Lugar	Absorbancia	Concentración de fósforo P soluble (mg/L)
Puente Rungue	0,331	0,80
Embalse Rungue	0,238	0,57
Estero Rungue	0,185	0,44
Estero El Manzano	0,440	1,08
Vertiente El Manzano	0,664	1,64

Salida Válvula Emb. Rungue	0,190	0,45
----------------------------	-------	------

Luego estos datos son ingresados a la ecuación 3 para obtener los datos en (mg/Kg).

Donde:

$$P(\text{mg} / \text{Kg}) = (a - b) * 20 * fh$$

a: mg/L de P en extracto de la muestra

b: mg/L de P

20: factor de relación líquido: sedimento

fh : factor de corrección por humedad

Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla 24

Tabla 21: Concentración de fósforo en muestras de sedimentos en mg/Kg

Lugar	Concentración de P en (mg/Kg)
Puente Rungue	16,21
Embalse Rungue	11,34
Estero Rungue	8,27
Estero El Manzano	21,48
Vertiente El Manzano	32,88
Salida Válvula Emb. Rungue	8,89

El valor de B es obtenido desde la ecuación que presenta la curva de calibración igualando la concentración de fósforo a cero lo cual en este caso da como valor 0,031.

Ejemplo 3

Datos Puente Rungue:

Absorbancia: 0,331

b: 0,031mg/L

fh: 1,05

$y = 0,3962x + 0,0123$ ecuación de la curva de calibración de Fósforo soluble

$$x (\text{concentración de P}) = (0,331 - 0,0123) / 0,3962$$

$$x (\text{concentración de P}) = 0,80 \text{ mg/L}$$

Luego se aplica la ecuación 3 con la cual se determinará la concentración de fósforo en mg/Kg

$$P(\text{mg} / \text{Kg}) = (0,80 - 0,031) * 1,05 * 20 = 16,21 \text{ mg/Kg}$$

d) Sales Solubles

Los cationes y aniones fueron medidos por medio de cromatografía HPLC, para lo cual se realizaron dos curvas de calibración con ocho distintas concentraciones donde se

obtuvo su correlación con la que se calcularon los valores de las concentraciones para cada catión y anión. Los resultados se presentan a continuación

Las correlaciones obtenidas para cada ión se presentan a continuación:

Aniones

Carbonatos: $y = 7134,4 x + 222,84$

Cloruros: $y = 5989,8 x + 3759,2$

Nitratos: $y = 6113,1 x + 3166,3$

Sulfatos: $y = 5431,7 x + 9929$

Cationes

Sodio: $y = 27900 x + 201507$

Potasio: $y = 23764 x + 69015$

Magnesio: $y = 95188 x + 112926$

Calcio: $y = 32913 x + 598020$

Por medio de las áreas obtenidas por cromatografía y las correlaciones obtenidas anteriormente, se calcula la concentración para cada ión en mg/L.

Ejemplo 4:

Sodio: $y = 27900 x + 201507$ y : área de la muestra (Estero Rungue) = 2801948,00

$$x = \frac{2801948 - 201507}{27900} = 93,3 \text{ mg / L}$$

Tabla 22: Promedio de áreas de muestras de aniones

Áreas muestras de aniones (mg/L)				
Lugar	carbonatos	cloruros	nitratos	sulfatos
Estero Rungue	172420,50	398016,50	0,00	5055821,00
Salida de válvula	0,00	78130,00	0,00	8301543,50
Embalse Rungue	249877,50	145109,30	132757,70	1326693,00
Estero El Manzano		152229,50	263013,50	9773217,00
Vertiente El Manzano	395159,00	236862,50	185084,00	1190231,00
Puente Rungue	0,00	559252,00	0,00	22046669,00

Tabla 23: Promedio de áreas de muestras de cationes

Áreas muestras de cationes				
Lugar	Sodio	Potasio	Magnesio	Calcio
Estero Rungue	2801948,00	1025102,70	656521,00	4148542,00
Salida de válvula	520059,00	823916,00	4155581,00	6225427,00
Embalse Rungue	2018505,00	514014,00	3047034,00	5197915,00
Estero El Manzano	2386620,00	336244,00	13155600,00	23719901,00
Vertiente El Manzano	5440889,00	460814,00	6507060,00	8913484,00
Puente Rungue	6289442,00	2236500,00	25899719,00	28717090,00

Los resultados expresados en mg/L (Tablas 11 y 12) a continuación son expresados en mg/kg, unidades de sedimento por medio de la siguiente relación:

$$[\text{cación}_o\text{anión}](\text{mg}/\text{Kg}) = \frac{[\text{cación}_o\text{anión}](\text{mg}/\text{L}) * PS}{100} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$$PS = \frac{(\text{sedimento} + \text{vaso}) - (\text{sedimento}_{\text{seco}} + \text{vaso})}{(\text{sedimento}_{\text{seco}} + \text{vaso}) - (\text{vaso}_{\text{solo}})} \quad \text{Ecuación 6}$$

Y siguiendo con el ejemplo 4

Sodio = 93,3 mg/l

PS= 144,40

$$\text{Sodio}(\text{mg}/\text{Kg}) = \frac{93,3 * 144,40}{100} = 134,4(\text{mg}/\text{Kg})$$

Los resultados de PS para cada muestra se presentan en la Tabla 27

Tabla 24: Porcentaje de saturación e muestras de sedimentos

pasta de saturación				
Lugar	vaso solo	Sedimento + vaso	sedimentos seco + vaso	PS
Puente Rungue	8,96	9,14	9,07	55,04
Embalse Rungue	8,65	8,86	8,74	133,77
Estero Rungue	8,65	8,85	8,74	144,40
Estero El Manzano	9,04	9,31	9,15	130,76
Vertiente El Manzano	8,64	8,87	8,73	163,18
Salida Val. Emb. Rungue	8,93	9,06	9,00	77,82

Ejemplo 5

Cloruros:

Cloruros: $y = 5989,8x + 3759,2$

Lugar: Estero Rungue

Área: 398016,50

$$[\text{carbonatos}](\text{mg}/\text{L}) = \frac{398016,5 - 3759,2}{5989,8} = 65,82\text{mg}/\text{L}$$

Producto de Solubilidad de compuestos metálicos

Tabla 25: Valor del producto de solubilidad de Hidróxidos metálicos a 25°C (Solar, 2002).

Hidróxido metálico	Producto de solubilidad K_s
AgOH	1.95×10^{-8}
Al(OH) ₃	3.16×10^{-34}
Be(OH) ₂	5.01×10^{-22}
Ca(OH) ₂	6.46×10^{-6}
Cd(OH) ₂	4.47×10^{-15}
Co(OH) ₂	1.26×10^{-15}
Co(OH) ₃	3.16×10^{-45}
Cr(OH) ₃	1.58×10^{-30}
Cu(OH) ₂	4.79×10^{-20}
Fe(OH) ₂	7.94×10^{-16}
Fe(OH) ₃	1.58×10^{-39}
Mg(OH) ₂	7.08×10^{-12}
Mn(OH) ₂	1.58×10^{-13}
Ni(OH) ₂	6.31×10^{-16}
Ti(OH) ₄	1.0×10^{-53}
Zn(OH) ₂	3.47×10^{-17}

ANEXO E: “Cobertura de Abastecimiento de Agua Potable”

Análisis de Agua Potable Rural de Montenegro y Rungue

Se llevó a cabo el análisis de agua potable utilizada en los pueblos de Rungue y Montenegro para constatar la calidad de éstas. Los datos fueron analizados según los límites máximos que presenta la Norma Chilena 409 referente a agua potable y se exponen a continuación:

N.Ch. 409/ of., 2005. "Agua Potable"

Tabla 26: Requisitos químicos Norma 409

Norma N.Ch. 409 (Agua potable)		
Parámetro	Unidad	Límite máximo
Amoniaco	mg/L	0,25
Arsénico	mg/L	0,05
Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro	mg/L	0,2
Cloruros	mg/L	250*)
Cobre	mg/L	1*)
Compuestos fenólicos	mg/L	0,002
Cromo hexavalente	mg/L	0,05
Detergente	mg/L	0,5
Flúor	mg/L	1,5
Hierro	mg/L	0,3*)
Magnesio	mg/L	125
Manganeso	mg/L	0,1*)
Mercurio	mg/L	0,001
Nitratos	mg/L	10*)
Nitritos	mg/L	1
Plomo	mg/L	0,05
Residuos sólidos filtrables	mg/L	1000*)
Selenio	mg/L	0,01
Sulfatos	mg/L	250*)
Zinc	mg/L	5*)

* El Ministerio de Salud puede aceptar aguas que no cumplan estos requisitos, siempre que ello no implique un peligro para la salud pública

El agua potable debe tener un pH comprendido entre 6,0 y 8,5.

Tabla 27: Requisitos físicos Norma Chilena 409

Requisito	Unidad	Límite máximo
Turbiedad	Unidades nefelométricas (formazina)	5
Color verdadero	Unidades de escala platino-cobalto	20
Olor	—	inodora
Sabor	—	insípida

Tabla 28: Requisitos radiactivos Norma chilena 409

Elementos radiactivos	Limite máximo,
Estroncio 90	10,00
Radium 226	3,00
Actividad Beta total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	1 000
Actividad Beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros radioemisores naturales)	50,00
Actividad Alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	15,00

La norma también establece que el agua potable debe estar exenta de microorganismos de origen fecal, cuya presencia se establece, basado en la determinación de gérmenes del grupo coliformes. Sin embargo, cuando se trate de agua distribuida por redes, se considera como potable desde el punto de vista bacteriológico, a aquella que cumpla simultáneamente con las condiciones que se indican en los puntos.

a) Agua potable Montenegro

Los valores de cada variable fueron obtenidos en la medición realizada con fecha 15 de Septiembre 2005 y se exhiben en la tabla 28

Tabla 29: Datos APR Montenegro

Lugar	Unidades	Montenegro	Norma
pH	unidades de pH	6,75	6,0 -8,5
Conductividad	uS/cm	1305	750
Cl-	mg/L	215,8	250
SO ₄ -2	mg/L	48,6	250
Mg+2	mg/L	32,1	125
As	mg/L	0,005	0,05
Cd	mg/L	0,01	0,01
Cu	mg/L	0,01	1
Fe	mg/L	0,01	0,3
Hg	mg/L	0,001	0,001
Mn	mg/L	0,01	0,1
Pb	mg/L	0,01	0,05
Se	mg/L	0,001	0,01

Zn	mg/L	1,06	5
N(NO3-)	mg/L	5,021	10

El valor de conductividad que se exhibe es alto por lo que deberían presentarse problemas de salinidad.

El pH se muestra cercano a la neutralidad y bajo los límites que establece la norma 409.

Todos los demás parámetros analizados cumplen con la N.Ch. 409/of. 2005, "Agua Potable", lo que no representaría riesgo a la población.

b) Agua potable Rungue

Los datos se obtuvieron en el muestreo realizado con fecha 23 de Diciembre 2008 en la copa de agua del pueblo de Rungue y se exponen en la tabla 29.

Tabla 30: Datos APR Rungue

Lugar	Unidades	Rungue	Norma
pH	unidades de pH	6,71	6 -8,5
Conductividad	uS/cm	634,6	750
Cl-	mg/L	7,6	250
SO4-2	mg/L	165	250
Mg+2	mg/L	21,6	125
As	mg/L	0,003	0,05
Cd	mg/L	0,01	0,01
Cu	mg/L	0,01	1
Fe	mg/L	0,03	0,3
Hg	mg/L	0,001	0,001
Mn	mg/L	0,03	0,1
Pb	mg/L	0,05	0,05
Se	mg/L	0,001	0,01
Zn	mg/L	0,01	5
N(NO3-)	mg/L	0,55	10

El agua potable de éste pueblo presenta todos los valores de sus variables, bajo los límites establecidos por la N.Ch. 409/of. 2005, "Agua Potable".

La calidad de las aguas que se utilizan como fuente de abastecimiento de agua potable en ambos pueblos, cumplen con los requisitos que establece la norma por lo que su consumo no representa riesgos en la salud de la población.