



Universidad Nacional de La Plata

**ecohidrología**  
MAESTRÍA EN EVALUACIÓN AMBIENTAL  
DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS

## ***Tesis de Maestría***

# ***PROPUESTA DE UNA LINEA DE BASE ECOHIDROLOGICA DE LA SUBCUENCA DEL RIO TURBIO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA***

*Presentada por la Lic. GUILLERMINA MARDERWALD ante la Facultad de Ciencias  
Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata  
para optar al Grado Académico de  
MAGISTER EN EVALUACIÓN AMBIENTAL DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS  
–MENCIÓN ECOHIDROLOGÍA–*

**Director:** *Lic. Pedro E. Tiberi*

**Co-Director:** *Dr. Mario A. Hernández*

**Co-Directora:** *Mg. Silvia N. Ferrari*

***La Plata, 2016***

## RESUMEN

Esta tesis de Maestría fue planteada con el fin de mejorar el conocimiento ecohidrológico que se tiene del sistema hídrico del río Turbio, ante la inminente puesta en marcha de una Central Termoeléctrica, alimentada a carbón, emplazada en su planicie de inundación. Este sistema conforma una subcuenca del alto valle del río Gallegos, ubicada en el suroeste de la provincia de Santa Cruz y drena una superficie de unos 1990 km<sup>2</sup>. El área es conocida por tener la explotación de carbón subterránea más importante del país.

Las afectaciones ecohidrológicas en la subcuenca derivan de las presiones generadas durante 60 años de actividad minera. Parte de este desarrollo significó la creación y consolidación de centros urbanos, los cuales evolucionaron en directa relación con las variaciones en los ciclos de la mina y sus picos positivos y negativos. Es por ello que el objetivo principal de este trabajo es el de generar una línea de base ecohidrológica, que busque definir el grado de intervención que ha tenido el sistema desde los comienzos de la actividad y hasta la actualidad, su interacción con el recurso hídrico y el ecosistema en general.

En una primera instancia la investigación estuvo centrada en la caracterización del medio físico-natural, socioeconómico y de explotación del recurso mineral, como base para el estudio de detalle. El análisis pormenorizado de estos factores exigió, por un lado, la descripción de la variabilidad natural del recurso hídrico en conjunción con la morfometría de la subcuenca para luego determinar su dinámica. En este aspecto, se logró definir el nivel de integración que posee la red de drenaje y el tiempo de respuesta asociado. Por otro lado, la caracterización fisicoquímica de los cursos superficiales permitió reconocer la influencia que la actividad antrópica ejerce sobre el recurso hídrico y como las condiciones de explotación del mineral han modificado su calidad. Tal es así, que en el ámbito de la explotación se constató una subordinación entre los iones  $\text{HCO}_3^{-1}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  en conjunto con el incremento de los valores de conductividad eléctrica. Asimismo, se detectó la presencia de metales como  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  y el  $\text{Fe}^{+2}$  por encima de los límites permitidos en base al Código Alimentario Argentino y la Ley Nacional N° 24.585 (De la Protección Ambiental para la Actividad Minera).

Posteriormente, se estableció el vínculo entre la estimación de la variabilidad espacial y temporal del recurso hídrico con los resultados de los análisis hidroquímicos para estas aguas. Esto posibilitó determinar que una característica distintiva del funcionamiento de la subcuenca es la

capacidad de dilución que posee, lo cual favorece el fenómeno de amortiguación sobre el ecosistema.

En función de las particularidades del área y los diferentes actores que integran la subcuenca se identificaron y analizaron los conflictos de uso y el aprovechamiento de los recursos naturales, en un ecosistema que ha sufrido un sostenido proceso de deterioro y que carece de políticas ambientales que revaloricen la región. La individualización de los beneficios y afectaciones del medio ecosistémico, proveyó un acercamiento a la interacción entre los diferentes usos del territorio y sus efectos sobre los servicios que el sistema puede brindar.

Este trabajo de tesis constituye un aporte útil para el ordenamiento y manejo de la subcuenca del río Turbio en relación con el nuevo emprendimiento energético, una actividad que convivirá con el establecimiento tradicional minero y con los centros urbanos.

## ABSTRACT

This Master's thesis was carried out in order to improve the ecohydrological knowledge of the Turbio River system due to the future launching of a coal-powered thermal station, built on its alluvial plain. The system is here considered as a sub-basin of the high Gallegos river valley. Located in the SW corner of the Santa Cruz province, drains an area of 1990 km<sup>2</sup>. This area is well known for being the place of the most important underground carbon mine in Argentina.

This activity generated pressures over the system along sixty years, nowadays reflected in the ecohydrology of the sub-basin. This meant the growth of new urbanizations that evolved in a direct relationship with the mine cycles. Therefore, the aim of this study is to generate an ecohydrology baseline, for explaining, among others, the state of the natural system since the beginning of the coal activity and the interaction between the hydric resource and the ecosystem.

In the first stage, the research was focused in a detailed characterization of the physical and social environment, especially in those aspects related with the mining exploitation. The natural variability of the hydric resources and the morphometric parameters were analyzed to determine the dynamic of the sub-basin. It was also possible to define the degree of integration of the drainage system and his period of response. Additionally, the physicochemical characterization of the watercourses enabled to recognize the impact of the anthropic activity, especially those related with the mining. Downstream exploitation area, subordination between  $\text{HCO}_3^{-1}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  ions and the increase of the electric conductivity was confirmed. Furthermore, metals as  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  and  $\text{Fe}^{+2}$  were detected, in concentrations beyond the authorized limits by the Argentine Food Code and National Law N° 24.585 of environmental protection for mining.

In a second stage, the relationship between the spatial and temporal variability of water resources with the results of hydrochemical analysis was established. These results allowed highlighting one of the most distinctive features of the sub-basin, such is his high dilution capacity, which in turn favors the natural mitigation phenomena. According on the peculiarities of the area and the different elements that integrate the sub-basin, a set of conflicts of use and exploitation of natural resources were identified and analyzed, taking in account that the ecosystem has suffered a sustained deterioration process and lacks environmental policies. To identify the benefits and disadvantages of the ecosystem made possible to understand the linkage between the land use and the service provided by the ecosystem.

This Master's thesis is a valuable tool to contribute in the planning and management of the Turbio River sub-basin in relation with the energetic development, a new activity that coexists with traditional mining and urban centers.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los profesores de la Maestría por la formación que he recibido, en especial a Mario Hernández, Pablo Romanazzi, Nilda González y Maria Marta Trovatto por la gran oportunidad que me han brindado.

A mis directores de tesis Pedro Tiberi, Mario Hernández y Silvia Ferrari por su apoyo, contribuciones, comentarios y sugerencias.

Un especial agradecimiento a Bettina Ercolano por sus consejos, dedicación y contención que me han guiado e impulsado en más de una vez a escribir.

A Boris Díaz, por su apoyo y colaboración.

Quiero dar las gracias a aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en el desarrollo de este trabajo:

Oscar Bonfili del Servicio Meteorológico Nacional; a mis compañeros de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral: Daniel Grima, Pablo Peri, René Asueta y Flavia Carballo; a mi compañera Fernanda Pacheco de la Secretaria de Estado de Minería de la Provincia de Santa Cruz.

A mis compañeros de Maestría, especialmente a Lorena Marques y Luciana Vallilengua por estos años de compañerismo y amistad.

Finalmente dar las gracias a mis padres por la educación que he recibido desde mi casa y a Nico por la paciencia y el acompañamiento durante el tiempo que duró este trabajo.

## INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.2.3. <i>Hipótesis</i> .....	4
1.3. ÁREA DE ESTUDIO .....	4
1.4. ANTECEDENTES DE LA TEMÁTICA .....	7
1.5. MARCO TEÓRICO .....	9
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>11</b>
2.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS, MATERIALES Y TÉCNICAS .....	11
2.1.1. <i>Obtención y tratamiento de la información hidroquímica</i> .....	12
2.1.2. <i>Obtención y tratamiento de la información hidrológica</i> .....	16
2.1.3. <i>Procesamiento de la información hidrométrica</i> .....	18
<b>3. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA .....</b>	<b>20</b>
3.1. POBLACIÓN .....	21
3.2. ACTIVIDAD SOCIO-ECONÓMICA .....	22
3.3. RELACIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA CON LA SOCIEDAD .....	24
<b>4. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO-NATURAL .....</b>	<b>25</b>
4.1. CLIMA .....	25
4.1.1. <i>Temperatura</i> .....	26
4.1.2. <i>Precipitación</i> .....	27
4.1.3. <i>Climatología del área</i> .....	27
4.2. GEOLOGÍA .....	28
4.3. GEOMORFOLOGÍA .....	31
4.3.1. <i>Geoformas Glaciarias</i> .....	32
4.3.2. <i>Geoformas fluviales</i> .....	35
4.3.3. <i>Procesos de Remoción en Masa</i> .....	36

<b>5. PANORAMA DE LA EXPLOTACIÓN MINERAL, SU RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO Y LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.....</b>	<b>38</b>
5.1. EXPLOTACIÓN DE CARBÓN: LA EVOLUCIÓN DE LA CUENCA .....	38
5.1.1. Descripción geológica-minera.....	39
5.1.2. Características del mineral .....	39
5.1.3. Utilización del carbón.....	40
5.1.4. Tratamiento del carbón.....	41
5.1.4.1. Pretratamiento por clasificación primaria del carbón bruto .....	42
5.1.4.2. Depuración del carbón grueso mayor a 20 mm en medio denso.....	42
5.1.4.3. Depuración del carbón fino 20 - 0,5 mm en medio denso. Lavado ciclónico .....	42
5.1.4.4. Clarificación de aguas residuales .....	43
5.1.5. Efluentes generados durante el procesamiento del mineral .....	43
5.1.6. Generación de estériles .....	45
5.1.7. Agua.....	45
5.2. CENTRAL TERMOELÉCTRICA RÍO TURBIO .....	45
5.2.1. Circuito de preparación del carbón para alimentar la CTRT.....	45
5.2.2. Características del sistema de generación de energía eléctrica .....	47
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
6.1. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TURBIO.....	50
6.1.1. Delimitación de la subcuenca .....	50
6.1.2. Descripción Fisiográfica.....	51
6.1.3. Hidrografía.....	53
6.2. HIDROLOGÍA .....	57
6.2.1. Descripción del escurrimiento superficial .....	57
6.2.2. Relevamiento hidrológico.....	60
6.2.2.1. Tramo de aforo arroyo Primavera .....	60
6.2.2.2. Tramo de aforo río Turbio en su curso superior .....	62
6.2.2.3. Tramo de aforo río Turbio en su curso medio.....	64
6.2.3. Estimación de caudales .....	65
6.3. HIDROQUÍMICA.....	67
6.3.1. Marco hidrológico de referencia .....	67
6.3.2. Diagnostico hidroquímico del estado de la subcuenca .....	68

6.3.2.1. Arroyo San José .....	69
6.3.2.2. Arroyo Santa Flavia .....	74
6.3.2.3. Arroyo Primavera .....	76
6.3.2.4. Río Turbio .....	78
6.3.3. <i>Composición química del agua superficial y su origen</i> .....	81
6.3.3.1. Origen del ión Sulfato .....	81
6.3.3.2. Procedencia de los iones Fe y Al .....	82
6.3.4. <i>Información generada</i> .....	82
6.3.5. <i>Características de las aguas superficiales</i> .....	83
6.4. ESTADO AMBIENTAL ACTUAL DE LA SUBCUENCA EN EL ÁREA DE YCRT Y CTRT .....	88
6.4.1. <i>Beneficios de la subcuenca y el aprovechamiento del recurso</i> .....	88
6.4.1.1. Reservas naturales en la subcuenca.....	89
6.4.1.2. Ofertas recreativas en la cuenca.....	89
6.4.2. <i>Problemáticas ambientales derivadas de los conflictos de uso</i> .....	90
6.4.2.1. Dique sobre el arroyo San José (Punto 1, Fig. 50).....	90
6.4.2.2. Escombrera sobre la margen izquierda del valle San José (Punto 2, Fig. 50) .....	91
6.4.2.3. Relleno del valle del arroyo San José .....	92
6.4.2.4. Piletas de sedimentación sobre la planicie de inundación del arroyo San José (Punto 3, Fig. 50). .....	92
6.4.2.5. Terraplén de las vías del ferrocarril de YCRT sobre el valle del arroyo San José y el río Turbio.....	93
6.4.2.6. Antigua explotación a cielo abierto sobre una margen del arroyo Santa Flavia .....	93
6.4.2.7. Emplazamiento de la CTRT en el valle del río Turbio (Punto 9, Fig. 50) .....	94
6.4.2.8. Generación de sólidos en suspensión en la etapa constructiva de la CTRT.....	95
6.4.2.9. Crecimiento de la ciudad y la necesidad de nuevas obras de infraestructuras .....	96
6.4.2.10. Incendios forestales y deforestación de los bosques de ñire y lenga .....	96
6.4.2.11. Canteras de áridos próximas a los cursos de agua.....	97
6.4.2.12. Explotación del subálveo del arroyo Primavera y San José (Punto 4, Fig. 50) .....	97
6.4.2.13. Actividad ganadera en los valles de la cuenca.....	97
6.4.2.14. Plantas de efluentes de líquidos cloacales de las localidades de Julia Dufour y Río Turbio.....	97
6.4.2.15. Actividades recreativas sobre los arroyos y la zona de ribera.....	97

6.4.3. Balance ecosistémico .....	98
6.4.4. Revalorización del ecosistema .....	98
6.5. SÍNTESIS.....	99
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>106</b>
8.1. BIBLIOGRAFÍA.....	106
8.2. RECURSOS DIGITALES .....	112
<b>9. ANEXO.....</b>	<b>113</b>
9.1. ANEXO I: RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA ANTECEDENTE .....	113
9.2 ANEXO II: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, CONTENIDOS DE IONES MAYORITARIOS Y METALES .....	123

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	5
Figura 2: Delimitación de la subcuenca de Río Turbio y sus localidades.....	6
Figura 3: Mapa hidrológico de la subcuenca del Río Turbio con la ubicación de las estaciones de aforo y los sitios de muestreo de agua superficial.....	14
Figura 4: Medición de parámetros fisicoquímicos y obtención de muestras de agua superficial en el campo.....	15
Figura 5: Detalles de las mediciones realizadas en los cursos de agua e instrumental utilizado.	17
Figura 6: Valores medios mensuales de temperatura para Río Turbio.....	26
Figura 7: Variación de la precipitación y la temperatura a lo largo de un año para el área de Río Turbio.....	28
Figura 8: Esquema Geológico de la subcuenca del río Turbio (Basado en Furque y Caballé, 1987).....	31
Figura 9: Diferentes posiciones de los arcos morénicos para la penúltima y última Glaciación dentro de la subcuenca. (Modificado de Sagredo <i>et al.</i> 2011).....	33
Figura 10: Valle del arroyo San José en su límite con Chile, aguas arriba del dique. Se observa el escaso relieve relativo de la artesa glaciaria indicada por la flecha anaranjada, la cual presenta mallines en toda su extensión. Las flechas rojas señalan las morenas laterales.....	34
Figura 11: A lo lejos se observa el paisaje de suaves lomadas correspondiente a un ambiente subglacial, las morenas de fondo. En primer plano se puede ver depósitos de Drift compuestos por till y gravas glaci-fluviales.....	35
Figura 12: Valle del arroyo San José aguas abajo del dique. Se observa la presencia de mallines y la intervención antrópica sobre el área. El suavizado del paisaje que se visualiza en segundo plano es debido a la acción erosiva glaciaria.....	36
Figura 13: Fenómenos de remoción en masa en el recodo que forma el río Turbio al tomar la dirección N-S, frente a la CTRT. En color violeta, muesca de un antiguo deslizamiento. En líneas bordo, soliflucción. En color gris, actual frente de deslizamiento. Asimismo se observa la intercepción del nivel freático con la topografía (flecha color naranja).....	37

Figura 14: Diagrama de flujo del trayecto que realiza el carbón (Adaptado del EIA, UTN 2011).	41
Figura 15: Interacción entre las diferentes etapas que requiere el procesamiento del mineral, uso del agua superficial y las descargas al ambiente (Extracto del EIA, UTN 2011).....	44
Figura 16: Imagen de la izquierda, cinta transportadora de carbón en su primera etapa, la flecha indica el sentido de circulación de la misma hacia la CTRT, actualmente se halla con cubierta protectora. Imagen de la derecha, vista panorámica de la cinta desde mina 5 hacia la CTRT.....	46
Figura 17: Sistema integral de generación de energía eléctrica, principales insumos, red de circulación y descarga. (Adaptación del EIA para la construcción de la CTRT, 2008).....	49
Figura 18: Mapa de relieve de la subcuenca del Río Turbio con sus rasgos fisiográficos más sobresaliente.....	52
Figura 19: Vista al NE de la Meseta Latorre y de la localidad de 28 de Noviembre sobre la margen derecha del valle del río Turbio. En el sector intermedio depósitos de origen glaciaro conforman una terraza glacifluvial.....	53
Figura 20: Perfiles transversales a la subcuenca en su tramo alto, medio y bajo respectivamente.....	54
Figura 21: Relación entre bifurcación y longitudes medias para cada uno de los números de órdenes en la subcuenca.....	56
Figura 22: Arroyo Primavera en época invernal, durante el congelamiento superficial del agua.....	59
Figura 23: Río Turbio durante una crecida. Fotografía tomada desde el puente de la ruta Nacional N° 40, en la margen derecha se observa la CTRT. El círculo de color verde muestra las paredes del antiguo puente sobre el río.....	59
Figura 24: Perfil de la sección de control del arroyo Primavera.....	61
Figura 25: Características físicas de la sección de aforo para el arroyo Primavera.....	61

Figura 26: Curso superior del río Turbio visto desde el puente de la ruta Nacional N° 40. El círculo en color celeste indica la sedimentación sobre el cauce, proveniente de las piletas de decantación del arroyo San José, el círculo en color verde los gaviones sobre la margen derecha del cauce y la flecha naranja los basaltos sobre su margen izquierda.....	62
Figura 27: Perfil de la sección de control para el río turbio en su tramo superior sobre el puente de la ruta Nacional N° 40.....	63
Figura 28: Características físicas de la sección de aforo. Extraído del estudio para la construcción de la CTRT, Serman y Asociados 2011.....	64
Figura 29: Perfil de la sección de control para el río turbio en su tramo medio.....	64
Figura 30: Características físicas de la sección de aforo.....	65
Figura 31: Variación de los caudales para el arroyo Primavera y el río Turbio.....	66
Figura 32: Distribución de los muestreos de agua superficial antecedentes para la subcuenca del Río Turbio.....	68
Figura 33: Evolución de las aguas del arroyo San José mediante los diagramas de Piper y Schoeller.....	70
Figura 34: Variación de la conductividad eléctrica a lo largo del arroyo San José.....	71
Figura 35: Distribución de los metales en el tramo superior y medio del arroyo San José.....	72
Figura 36: Distribución de los metales en el tramo inferior del arroyo San José.....	74
Figura 37: Distribución de los metales, aguas arriba y aguas abajo del arroyo Santa Flavia.....	75
Figura 38: Evolución de las aguas del arroyo Primavera mediante los diagramas de Piper y Schoeller.....	77
Figura 39: Distribución de los metales, aguas arriba y aguas abajo del arroyo Primavera.....	77
Figura 40: Evolución de las aguas del río Turbio aguas abajo de la CTRT.....	79
Figura 41: Imagen satelital de la planicie de inundación del arroyo San José. Se observa en el círculo azul el cambio en la coloración del agua superficial en la confluencia de ambos arroyos.....	79

Figura 42: Croquis de ubicación de las piletas de decantación sobre la planicie de inundación, su drenaje hacia el arroyo San José y el cambio de coloración que se sucede hacia el río Turbio.....	80
Figura 43: Distribución de los metales en el río Turbio.....	81
Figura 44: Evolución geoquímica del arroyo Primavera y el río Turbio a través del tiempo.....	84
Figura 45: Evolución geoquímica del arroyo Primavera.....	85
Figura 46: Evolución geoquímica del río Turbio en ruta Nacional N° 40.....	86
Figura 47: Evolución geoquímica del río Turbio en su tramo medio.....	87
Figura 48: a) Relación HCO <sub>3</sub> /SO <sub>4</sub> y b) Relación Ca/Na para el arroyo Primavera y río Turbio....	87
Figura 49: a) Relación HCO <sub>3</sub> /SO <sub>4</sub> y b) Relación Ca/Na para el arroyo San José. Para el último sitio de muestreo se observa en círculo coloreado el incremento significativo de los contenidos de SO <sub>4</sub> y Na para estas aguas.....	88
Figura 50: Enumeración de las diferentes intervenciones que ha sufrido la subcuenca a través de los años (Elaboración Propia).....	90
Figura 51: Dique San José. Sobre la margen derecha del mismo se observa la planta de tratamiento de agua.....	91
Figura 52: Vista panorámica de la escombrera sobre el valle del arroyo San José y la cinta transportadora que aporta material a la misma. El círculo verde representa el sector de antiguos deslizamientos. El crecimiento de la escombrera se da hacia el este de la cuenca (derecha de la imagen).....	92
Figura 53: Piletas de sedimentación en dos épocas diferentes. La figura de la izquierda representa un período de bajo caudal sobre el arroyo San José. La figura de la derecha en período de crecidas, se observa en el círculo de color verde la red de drenaje creada en torno a las piletas producto de su colmatación.....	93
Figura 54: Terraplén de las vías del ferrocarril de YCRT sobre el valle del arroyo San José ( <a href="http://www.interpatagonia.com/">http://www.interpatagonia.com/</a> ).....	94

Figura 55: Valle del río Turbio en dos períodos del año. La foto de la izquierda indica la época de crecida, durante el deshielo de la nieve acumulada en la cuenca. La foto de la derecha, el curso de agua confinado a su cauce natural (flecha color blanca). En flechas color rojo, gavión de contención.....	95
Figura 56: Vista panorámica de la CTRT en construcción sobre el valle del río Turbio. La flecha señala la ubicación de la pileta de decantación. Aguas abajo se visualiza la localidad de 28 de Noviembre.....	95
Figura 57: Vista hacia el sureste de la ciudad de Río Turbio emplazada en un sector de pendiente. Sobre la izquierda de la imagen, el espejo de agua corresponde al dique San José	96
Figura 58: Representación de los diferentes usos del territorio y la afectación de los servicios ecosistémicos que la subcuenca pueda brindar.....	98
Figura 59: Variación hidroquímica interanual para el área de análisis.....	101

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Origen de los datos hidroquímicos sistematizados.....	13
Tabla 2: Identificación e interpretación de las variables en estudio.....	19
Tabla 3: Características del carbón de Río Turbio. Extracto de informe inédito de YCRT (Filippini, 1962).....	40
Tabla 4: Características morfométricas de la subcuenca del Río Turbio.....	55
Tabla 5: Ubicación de las secciones de control dentro de la Subcuenca del río Turbio.....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Tema de investigación

El recurso hídrico superficial constituye no solo uno de los más valiosos por su rol en los ecosistemas y en las propias actividades socioeconómicas de un territorio, sino que también representa el acceso a la información acerca de las características del funcionamiento sistémico de una región. Conocer la calidad y cantidad de ese recurso, así como efectuar su estudio y análisis con miras a diagnosticar el estado de uso y la conservación de la cuenca hidrográfica y su entorno natural, resulta por tanto, uno de los primeros temas a evaluar para lograr un desarrollo sustentable de la región.

La investigación fue planteada ante la necesidad de mejorar el escaso conocimiento que se tiene del sistema hidrológico del río Turbio, cuenca alta del río Gallegos, desde una perspectiva ecohidrológica, dado el impulso que en los últimos años ha cobrado la actividad energética en la región. Esto exige la generación de nuevos datos para complementar la información existente e integrarla en su conjunto.

La cuenca del río Gallegos es la más austral del país en el ámbito continental. Comprende un extenso territorio binacional (argentino - chileno) ubicado en el extremo sur de la provincia de Santa Cruz, desarrollándose de oeste a este hasta desembocar sus aguas en el océano Atlántico. Con una amplitud de 11.943,1 km<sup>2</sup>, se ubica en el rango de las regiones hidrográficas medianas a pequeñas del territorio en términos de extensión superficial (Díaz *et al.*, 2006). Con todo, representa uno de las comarcas más interesantes de la provincia en cuanto a su relevancia y potencialidades socioeconómicas regionales. Esto último cobra importancia al afirmar que la cuenca alberga al 41,34 % de los habitantes de Santa Cruz, siendo localmente la única fuente posible de acceso al agua.

La actividad humana se focaliza en dos polos. En la cuenca alta, la ciudad de Río Turbio con una población de 8.814 habitantes, es el centro de la principal explotación subterránea de carbón del país. Como núcleo administrativo y próximo a ella, se encuentra la localidad de 28 de Noviembre con 6.145 habitantes. La extracción de carbón representa la principal actividad productiva de la región en los últimos 60 años y ha dado origen al asentamiento y desarrollo de los núcleos urbanos. En el tramo inferior de la cuenca el otro polo es la capital provincial, Río Gallegos

que, con una población de 95.796 habitantes (INDEC, 2010), se ubica en la margen derecha del estuario que conecta al río con el océano Atlántico.

A lo largo de décadas se ha generado una serie de pasivos ambientales asociados a la actividad carbonífera, entre los cuales se encuentran los depósitos de material estéril denominados escombreras, las piletas de lodos y los sedimentos aportados a los cursos de agua receptores de efluentes.

Con la inminente puesta en marcha de la Central Termoeléctrica a carbón próxima a Río Turbio (CTRT), cuyo propósito es generar energía eléctrica para aportar al sistema interconectado nacional, surge un escenario de creciente complejidad en la gestión integral de los recursos naturales y en la modificación de su entorno.

Es bien sabido que la utilización del agua por el hombre está condicionada por la capacidad limitada de su disponibilidad y aptitud y por los diferentes usos posibles. La ocupación del territorio requiere abastecimiento hídrico, producción de energía, control de crecidas, riego, navegación y recreación. La concentración urbana en grandes ciudades ha tornado el problema del abastecimiento de agua y producción de energía en una cuestión de ingeniería, calidad de vida y costo. Cuando se efectúa el planeamiento del recurso hídrico se presentan dos condiciones básicas: el medio donde se distribuye, que es la cuenca hidrográfica y el medio donde es utilizado, que son las grandes concentraciones urbanas y algunas áreas rurales (Ceirano y Zucarelli, 2001).

En el caso de la cuenca del río Gallegos, aspectos tales como el posicionamiento geográfico de la CTRT - equidistante entre los dos centros urbanos principales de la cuenca alta -, su emplazamiento en la planicie de inundación del río y la utilización de un mismo recurso hídrico tanto para la actividad industrial, ganadera (cuenca alta) como para consumo humano (cuenca baja, ciudad de Río Gallegos), generan conflictos de uso y explotación en una región en crecimiento, expansión y desarrollo en la provincia.

Otro aspecto a tener en cuenta es el incremento en la producción minera de Yacimientos Carboníferos Río Turbio (YCRT), dado que la CTRT utilizará como principal insumo energético al mineral, hecho que sin duda redundará en un resurgimiento de la actividad carbonífera y potenciará una modificación directa e indirecta al sistema ecohidrológico.

Prácticamente, se carece de datos temporales y espaciales suficientes de calidad de agua superficial, como asimismo de caudales que den cuenta sobre el estado actual de la cuenca en su

totalidad, salvo la información puntual generada recientemente con motivo del emplazamiento de la CTRT.

Surge entonces la necesidad de generar una línea de base ecohidrológica con el propósito de implementar las herramientas de evaluación destinadas a garantizar el desarrollo sustentable a escala regional. En el marco de esta Tesis de Maestría y dada la amplitud de la unidad hidrográfica en cuestión, se circunscribirá el análisis al sistema hídrico del río Turbio (Fig. 1). Cabe señalar que dada la entidad que en sí mismo tiene este sistema de aporte, de aquí en adelante se lo referirá como subcuenca del río Turbio.

El manuscrito está organizado en siete capítulos. En el Capítulo 1 se desarrolla el marco teórico conceptual necesario para comprender el tema de investigación. Se exhibe la problemática bajo estudio, así como los objetivos del trabajo, la hipótesis, los antecedentes más relevantes de la temática y los conceptos más importantes como manejo, gestión y marco ecohidrológico. En el Capítulo 2 se presenta la metodología utilizada especificando la obtención y tratamiento de la información. El entorno socioeconómico en función de las características poblacionales, actividades productivas y su relación con el medio social es abordado en el Capítulo 3. En el Capítulo 4 se describe el medio físico-natural donde se incluye una caracterización del clima, la geología y la geomorfología. El Capítulo 5 presenta un panorama de la explotación mineral, su relación con el recurso hídrico y la central termoeléctrica. Los resultados, que constituyen el cuerpo de esta investigación, se exponen en los primeros cuatro apartados del Capítulo 6. En el primero de ellos se realiza el estudio morfométrico de la subcuenca, en el segundo se analizan los caudales del sistema hidrográfico involucrados en la comarca bajo estudio, en el tercero se aborda el quimismo del agua superficial a través de datos propios e históricos de parámetros fisicoquímicos y metales, mientras que en el último se determina el estado ambiental, vinculando la intervención antrópica histórica y actual con la afectación ecohidrológica. En el apartado cinco de este capítulo se integran y discuten los datos hidroquímicos e hidrológicos para determinar el comportamiento de la subcuenca a lo largo de un año hídrico y su relación con las actividades que intervienen en la misma. Finalmente, en el Capítulo 7 se presentan con criterio ecohidrológico, las conclusiones emergentes del estudio y recomendaciones de índole general.

## **1.2. Objetivos e hipótesis**

### **1.2.1. Objetivo general**

El objetivo general de este trabajo en función de sus alcances y disponibilidad de datos básicos, es generar una línea de base ecohidrológica de la subcuenca del río Turbio. Su ejecución aportará a:

- i. Comprender el ecosistema acuático como recurso y como servicio
- ii. Identificar y proponer las interrelaciones entre el agua y su entorno ambiental
- iii. Predecir los principales efectos resultantes de cualquier cambio particular en algún componente específico del sistema, en función de los ya reconocidos

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Dentro del marco provisto por los objetivos generales se buscará:

- i. Actualizar el conocimiento general de la subcuenca del río Turbio (morfometría, tributarios, caudales, aportes, calidad, etc.)
- ii. Analizar el impacto de la actividad minera–industrial–energética del yacimiento carbonífero Río Turbio sobre la cuenca y su ecosistema
- iii. Generar información de base que sirva de herramienta para la toma de decisiones por parte de los organismos gubernamentales

### **1.2.3. Hipótesis**

La cuenca alta del río Gallegos –subcuenca del río Turbio- es vulnerable ante una amenaza externa debido a la falta de información soporte y gestión en el manejo del recurso hídrico en relación con el medioambiente y eso se vería reflejado en la línea de base ecohidrológica.

## **1.3. Área de Estudio**

Se sitúa en el sector suroeste de la provincia de Santa Cruz, en el Departamento de Güer Aike, dentro del sistema hidrográfico río Gallegos - río Turbio (Fig. 1). La principal localidad es Río Turbio, centrada entre el paralelo de 51º 32' S y el meridiano de 72º 20' O. Es conocida en el país

como el único lugar donde actualmente se explota carbón. Cercano a este centro urbano se ubican las localidades de Julia Dufour, sitio del nuevo emplazamiento energético, y 28 de Noviembre. En tanto, la capital provincial Río Gallegos dista unos 210 km hacia el este y 300 km por ruta.

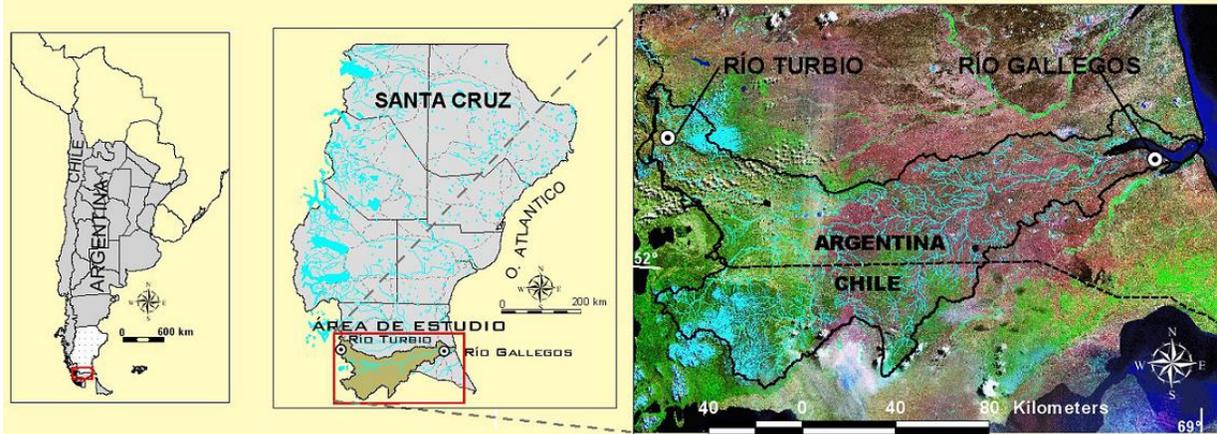


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

Desde la capital provincial, uno de los accesos a estas localidades se realiza por el sur a través de la ruta Nacional N° 40, parcialmente asfaltada. La otra opción, totalmente pavimentada aunque de mayor distancia es el ingreso por el norte; en este caso partiendo de Río Gallegos por la Ruta Provincial N° 5 hasta el paraje La Esperanza donde se produce la intersección con la ruta Provincial N° 7, la cual se dirige hacia el oeste hasta conectar con la ruta Nacional N° 40 y así acceder a las localidades citadas. Desde la República de Chile se ingresa al área por la Ruta N° 250 a través de la localidad chilena más cercana, Puerto Natales, distante 30 km de Río Turbio.

El río Gallegos se origina de la confluencia de los ríos Rubens y Penitentes, cuyas nacientes se ubican en el contrafuerte cordillerano chileno y atraviesa la región extraandina hasta su desembocadura, bajo la forma de un estuario, en el océano Atlántico. En la cuenca alta recibe al único tributario de la margen norte, el río Turbio.

Su fuente de alimentación pluvio-nival procede tanto del sector chileno como argentino, por lo que constituye un recurso compartido.

En lo referente al río Turbio, este nace entre la Cordillera Chica y Meseta Latorre, discurriendo inicialmente en sentido este - oeste hasta encontrarse con el arroyo Primavera para luego circular regionalmente a lo largo de un valle con orientación meridiana. De su unión con el tributario San José adquiere nuevamente la denominación de río Turbio. En su recorrido hacia el

sur va tomando la dirección oeste - este hasta unirse con el río Gallegos, tal cual lo descrito en párrafo precedente (Fig. 2).

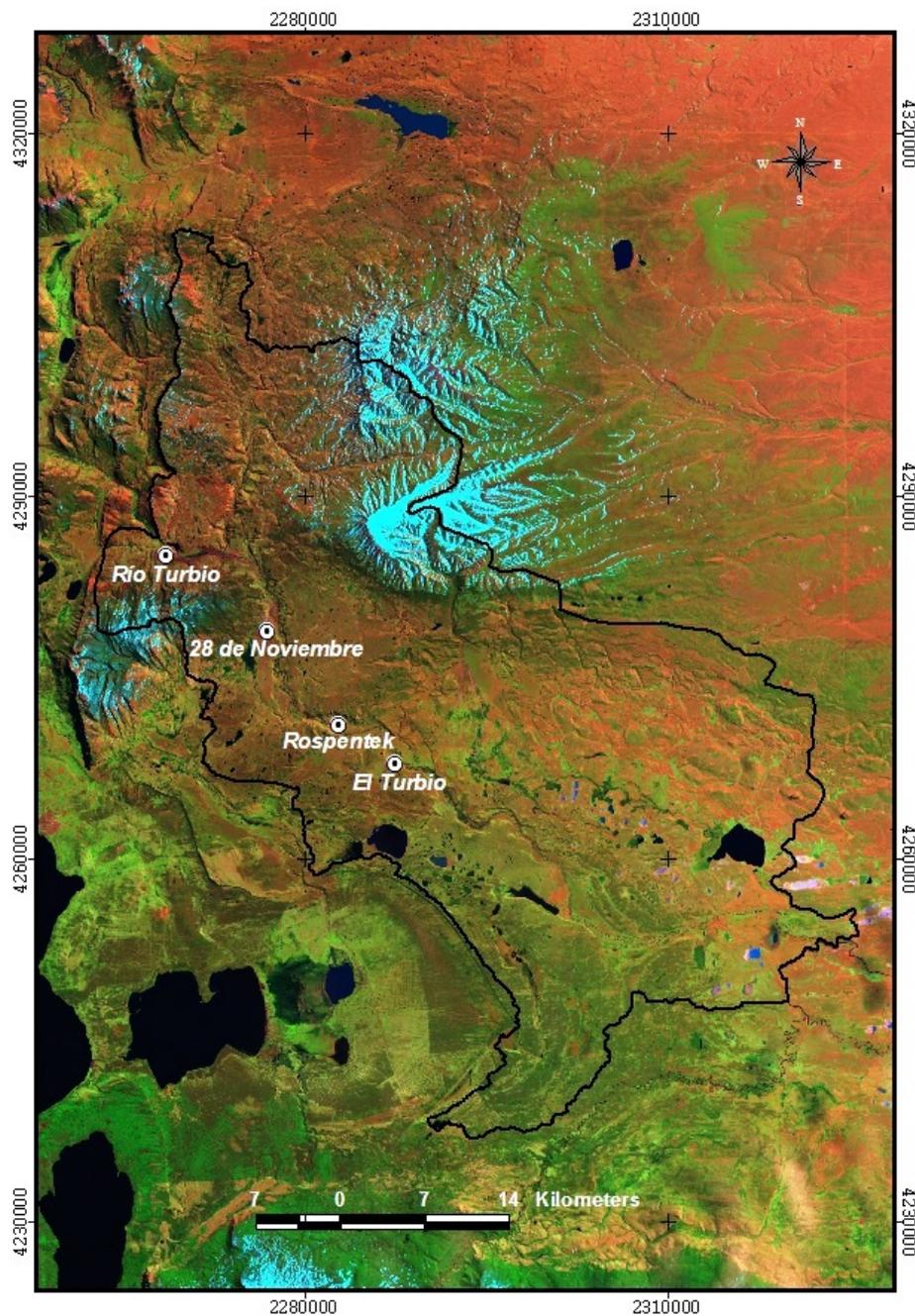


Figura 2: Delimitación de la subcuenca de Río Turbio y sus localidades.

Es de observar que para este estudio se ha hecho la distinción de renombrar al tramo superior del Turbio (antes de su confluencia con el arroyo San José) como arroyo Primavera. Esta

diferenciación se realiza en virtud de que todos los antecedentes así lo mencionan y para no llevar a confusión.

#### **1.4. Antecedentes de la temática**

La revisión de antecedentes que se presenta a continuación, incluye en primera instancia los trabajos de índole regional más significativos para la temática a desarrollar y en segundo término, aquellos específicos.

Con respecto a la información geológica y geomorfológica de la cuenca, fue Caldenius (1932) el primero en presentar un esquema regional de los avances glaciarios en Patagonia que incluye la cuenca alta del río Gallegos. Meglioli (1992) toma dicho esquema y lo modifica en cuanto al número y cronología de eventos glaciares. Desde el Proyecto de Asistencia técnica para el desarrollo del Sector Minero Argentino (PASMA) (2001) se realiza un primer inventario de los recursos naturales y humanos de gran parte de la cuenca que incluye no sólo aspectos geológicos y geomorfológicos, sino también hidrológicos.

Para la zona del río Turbio se cuenta con los trabajos de descripción geomorfológica y geológica de Furque y Caballé (CFI, 1987, 1993) y la hoja geológica 5172-III Yacimiento Río Turbio de Malumian *et al.* (2000).

En lo referente exclusivamente al carbón, en las décadas del 40', 50' y 60' Yacimientos Carboníferos Fiscales (YCF) a través de Lurgi (1950), Filippini (1962), entre otros, realizó estudios a nivel internacional de la composición del mineral con el fin de identificar, caracterizar y cubicar las posibles fuentes de explotación.

Específicamente en relación con la temática hidrológica, es notable la escasez de conocimientos previos a la década del 90'.

Nicolli (1992) es el primero en llevar a cabo una caracterización geoquímica de las aguas superficiales a lo largo de toda la cuenca y de las subterráneas pertenecientes al sistema de provisión de agua para consumo de la ciudad de Río Gallegos. Sobre este último tema existía solo un antecedente de mediados de los 60' incluido dentro del Plan Regulador de Río Gallegos (Pastor y Bonilla 1966).

Con posterioridad, la Fundación Patagonia Natural (1995) efectuó un análisis a escala regional de metales -Hg, Cd, Pb, Cu y Zn- y parámetros fisicoquímicos del material en suspensión

transportado por el agua y en los sedimentos de fondo. Los autores expresan que aguas abajo de la explotación carbonífera, el Turbio aumenta su turbiedad por efecto del aporte de polvo de carbón, el cual es llevado en suspensión durante kilómetros hasta terminar sedimentado a lo largo de su cauce.

La Subsecretaría de Medio Ambiente tiene en su poder un expediente del año 1999 que registra la detección de gran cantidad de sólidos en suspensión en el río Rubens, procedentes del lavado de áridos en territorio chileno. Este cambio en el curso ocasionó problemas operativos en la planta potabilizadora de Río Gallegos, en relación con el suministro de agua potable a la población, mostrando así la vulnerabilidad en la que se halla el sistema.

En la subcuenca del río Turbio se han realizados varios trabajos relacionados con el impacto inmediato que producen los efluentes de la mina de carbón sobre el curso de agua, así como la disposición de estériles en la planicie de inundación. Nicolli (1993) fue uno de los precursores en estudiar esta problemática a partir del análisis de materiales en suspensión.

Varios años más tarde, Caballero (2008a) efectuó una evaluación preliminar del contenido metálico de los depósitos de estériles y de los sedimentos del arroyo San José, corroborando que tanto las escombreras recientes como las antiguas tienen un potencial neto de generación ácida. Por otro lado, Caballero (2008b) determinó el impacto ocasionado por los efluentes minero-industriales tomando en cuenta, además de la calidad de los vertidos y del agua del arroyo San José, otros factores relevantes tales como caudal, tipo de vertido, estacionalidad y peligrosidad. La autora concluye que el impacto variaba en un rango de alto a muy alto en su escala de valoración. Caballero (2008c; 2008d) estableció estadísticamente la importancia de los efluentes -derivados de la actividad minera- como modificadores de la calidad del agua tanto en su contenido en sólidos como en metales.

El Instituto Nacional del Agua (INA) (1999) determinó las condiciones de sedimentación de los sólidos transportados por el río. El propósito del estudio fue evaluar la posibilidad de recuperación de las aguas a un nivel que posibilite el desarrollo de la fauna ictícola.

A partir del año 2006 luego de la puesta en vigencia de la ley provincial N° 2658/03 *De Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*, se han presentado evaluaciones en relación con los diferentes emprendimientos emplazados en la subcuenca del río Turbio.

K y P Servicios Mineros (2007) identificó los impactos ambientales propios de la etapa de explotación del yacimiento de carbón. En tanto, desde la Universidad Tecnológica Nacional (2011),

se evaluaron los precedentes de la industrialización. Como parte del trabajo se generaron datos acerca de la calidad del agua.

En particular, el diseño del proyecto de instalación y la construcción de la CTRT demandó la ejecución de dos EIA. En el año 2006, el Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino) evaluó la generación de energía eléctrica con una configuración final de 70 MW de potencia neta, disponible en dos etapas de 35 MW c/u. Posteriormente y ante la determinación del Estado Nacional de aumentar la potencia a 240 MW (dos módulos de 120 MW), Serman y Asociados S.A. efectuó un segundo EIA en el año 2008. Durante ambos estudios se obtuvieron valores de calidad de agua.

Bahamonde *et al.* (2012) evalúan la calidad bioquímica y los sólidos en suspensión del agua en los ríos asociados a uso silvopastoril de ñire (*Nothofagus antarctica*) en la cuenca bajo estudio, como método para evaluar la incidencia de la ganadería en el recurso.

Recientemente, Asueta *et al.* (2013) aportan datos preliminares acerca de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, como posibles índices bióticos de calidad ambiental en la cuenca alta del río Gallegos.

Como es posible observar a partir de lo expuesto en párrafos anteriores, los antecedentes sobre la temática se remiten a estudios de los impactos sobre el recurso hídrico e informes ambientales. El mayor déficit de información proviene del campo específico de la ecohidrología en términos de la relación de los sistemas hidrológicos con los ecosistemas en su conjunto, incluyendo la componente social. Esto es precisamente una de las razones que alentaron la formulación de este plan de maestría.

## **1.5. Marco teórico**

La evolución en la comprensión de la estructura, dinámica y relaciones funcionales que ocurren dentro de los ecosistemas fluviales, significó la aparición de nuevas perspectivas que han llevado a la consolidación de conceptos tales como: desarrollo sustentable y ecohidrología.

La concepción de desarrollo sustentable se inicia en el año 1987, a partir de la publicación del estudio titulado "Nuestro Futuro Común" más conocido como Informe Brundtland, emitido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. El propósito de este informe fue encontrar medios prácticos para revertir de manera equilibrada los problemas

ambientales y tratar de lograr el desarrollo económico - social de la población a nivel mundial. De ello surge que el reto del desarrollo sustentable consiste en satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, mejorando la calidad de vida, de manera de no comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987).

Los procesos naturales tienen una dinámica particular que implica reacciones múltiples e interdependientes ante cada acción del hombre. Ya se ha visto que toda actividad humana presupone un riesgo, tanto en su interacción con el medio natural como con el medio social, producto del mismo conjunto social hacia el cual va dirigida (De Jong, 2005).

Los cambios en el paisaje o la eliminación, destrucción y/o inutilización de los ecosistemas son los factores de mayor impacto sobre la sostenibilidad de los recursos hídricos naturales. La mala calidad del agua y un abastecimiento no sostenible frenan el desarrollo económico de una región, y pueden tener efectos negativos sobre la salud y los medios de vida. El desarrollo sustentable exige una perspectiva a largo plazo y una amplia participación en la formulación de políticas, la adopción de decisiones y la ejecución de actividades a todos los niveles.

En el marco del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO y a partir de la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente llevada a cabo en Dublín en el año 1992, se puso de relieve la insuficiencia de soluciones existentes para las prácticas de manejo de los recursos hídricos a los efectos de alcanzar la sustentabilidad, así como la necesidad de lograr nuevos conceptos y nuevas soluciones.

Como resultado, se desarrolló el marco conceptual de ecohidrología, el cual incluye tres principios fundamentales: a) la integración y cuantificación de los procesos biológicos e hidrológicos a escala de cuenca, b) la mejora en la capacidad de absorción del ecosistema ante el impacto humano y c) el uso de las propiedades de los ecosistemas como una herramienta de gestión (Zalewski *et al.*, 1997). Asimismo y desde un enfoque sistémico, pretende que la gestión de los recursos naturales mejore la coexistencia entre la sociedad y los ecosistemas. De esta manera crea una nueva base para la evaluación y gestión del recurso hídrico superficial y acelera la implementación de una idea relacionada con el desarrollo sostenible.

Los conflictos entre la sociedad y el medio natural se dan a partir de la forma en que esa sociedad organiza el aprovechamiento, manejo y uso de un conjunto determinado de recursos. Es decir que los problemas ambientales tienen sentido a partir de la existencia de la acción del hombre y en gran parte son consecuencia de la misma, la que no resulta de circunstancias más o

menos complejas sino que responde a la racionalidad propia del sistema social. Por ello la separación entre medio social y medio natural resulta totalmente artificiosa (De Jong, 2005).

Para poder discernir la potencialidad de funciones o usos de los recursos hídricos dentro de una cuenca es necesario evaluar la situación en la que se encuentran y los impactos de las actividades humanas actuales o previas. Todo ello pasa por un entendimiento de los factores y procesos que gobiernan los sistemas fluviales, así como de las causas de su variabilidad, tanto naturales como en respuesta a las perturbaciones (Allan y Castillo, 2007).

En consecuencia, la ecología y la hidrología han alcanzado una fase de madurez que nos permite integrar con éxito, hacia la mejora de la evaluación, desarrollo y gestión de los recursos acuáticos; como se mencionó en el párrafo precedente, un aspecto importante de la ecohidrología es la provisión de una nueva solución para problemas socioeconómicos.

La combinación de diversas presiones económicas, ambientales y sociales tienen a menudo por consecuencia, un incremento en el uso del recurso hídrico, la competitividad, la contaminación e ineficacia en el abastecimiento de agua. Esto se debe a que, prácticamente a todos los niveles, la toma de decisiones sigue atendiendo a consideraciones económicas y políticas del momento, sin considerar una visión a largo plazo indispensable para implantar medidas de desarrollo sostenible, (INA, 2010).

Para que los recursos hídricos sigan ofreciendo una serie de valiosos y beneficiosos servicios, tendría que aumentar el nivel de conciencia y compromiso con el desarrollo y mantenimiento de enfoques integrados y de soluciones, como ya se ha indicado, a largo plazo (INA, 2010).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Aspectos metodológicos, materiales y técnicas**

El procedimiento metodológico empleado para el desarrollo de los objetivos planteados incluyó tareas de gabinete y relevamientos en campo.

La fase inicial de la investigación consistió en realizar una exhaustiva búsqueda de la información disponible relacionada con la temática del trabajo a escala de subcuenca. Así, se recopilaron datos hidrológicos, hidroquímicos, meteorológicos, geológicos y geomorfológicos. En

relación a estos últimos tres, son tratados dentro del Capítulo 4, correspondiente a la caracterización del medio físico-natural. En tanto los datos hidrológicos e hidroquímicos fueron sometidos a un proceso de revisión para determinar su validez. De la evaluación de estos datos se establecen claramente los diferentes sitios, dentro de la cuenca, que tienen información suficiente y de utilidad para ser procesada y analizada.

En segunda instancia, y tomado como base la mencionada información, se realizó una selección de las estaciones representativas de la hidrología e hidroquímica en cada uno de los sistemas fluviales y el grado de accesibilidad a las mismas. Una vez definidos estos puntos de medición en el campo, y a partir de campañas de muestreo de agua superficial, se procedió a la obtención de diferentes datos, su tratamiento y análisis en gabinete. Como complemento de la información generada, se analizó una serie de variables hidrométricas con el fin de caracterizar a la subcuenca hidrográfica.

A las observaciones efectuadas en campo se sumó la información extraída de la comparación de imágenes, que permitió realizar un diagnóstico preliminar sobre el estado ambiental en que se encuentra la subcuenca y establecer un valor para la pérdida de cobertura vegetal en la Sierra Dorotea. Parte de esta diagnosis involucró la comparación multitemporal de fotografías aéreas tomadas por el IGM en el año 1969, a escala aproximada 1:60.000, e imágenes satelitales LANDSAT 5 TM del año 2013/14 obtenidas del sitio Web de la NASA (<http://glovis.usgs.gov/>), las que permitieron georreferenciar las fotos antes nombradas. Asimismo otra cotejo para diferente tiempo surgió de las imágenes obtenidas a través del software SASPlanet.

Posteriormente, se procedió a integrar la información precedente con los resultados derivados de la caracterización hidrométrica, hidrológica e hidroquímica que aportará a una conclusión propia de los objetivos planteados.

### **2.1.1. Obtención y tratamiento de la información hidroquímica**

Se llevó adelante la sistematización de los datos hidroquímicos históricos correspondientes al agua superficial de los principales arroyos de la subcuenca del río Turbio. A continuación se detalla la procedencia de los datos (Tabla 1).

**Tabla 1: Origen de los datos hidroquímicos sistematizados.**

Fuente	Zona de muestreo	Meses	Años
PASMA, 2001	Subcuenca del río Turbio	Abril y Septiembre	2000
SEGEMAR, 2006	Subcuenca del río Turbio	Marzo	2006
Caballero, 2008	Arroyos Santa Flavia y San José	Junio y Diciembre	2006
Serman y Asociados, 2008,2014	Subcuenca del río Turbio Arroyos Primavera, San José y río Turbio	Abril Mayo y Noviembre	2008 2010, 2011, 2012
UTN, 2011	Subcuenca del río Turbio	Marzo	2011

La comparación de la información puso en evidencia aquellos sitios que cuentan con un volumen mayor de datos y de los cuales se hace el seguimiento en detalle, como es el caso de los principales arroyos que aportan al río Turbio.

Se advierte la diferencia de metodología empleada por los laboratorios en los distintos trabajos, así como los límites de detección establecidos para cada elemento, por lo cual se presenta un escenario que ejerce cierto condicionamiento a la hora de evaluar en simultáneo la información.

En el Anexo I se presentan los parámetros que resultaron comparables, dentro de las fuentes analizadas. Tales fueron los fisicoquímicos medidos *in situ* (temperatura, pH, conductividad) y en laboratorio, sólidos totales y metales ( $\text{HCO}_3^{-1}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{K}^{+1}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ , Cr total, Fe total,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ).

El trabajo de campo en la subcuenca se realizó durante el periodo abril de 2013 - abril de 2014, con una frecuencia de muestreo aproximadamente estacional, comprendiendo los meses de abril, agosto, diciembre y abril respectivamente. Los puntos de monitoreo definidos en función de lo expuesto en el párrafo introductorio a este capítulo, corresponden a aguas superficiales del arroyo Primavera en su curso medio y río Turbio en su curso superior y medio (Fig. 3).

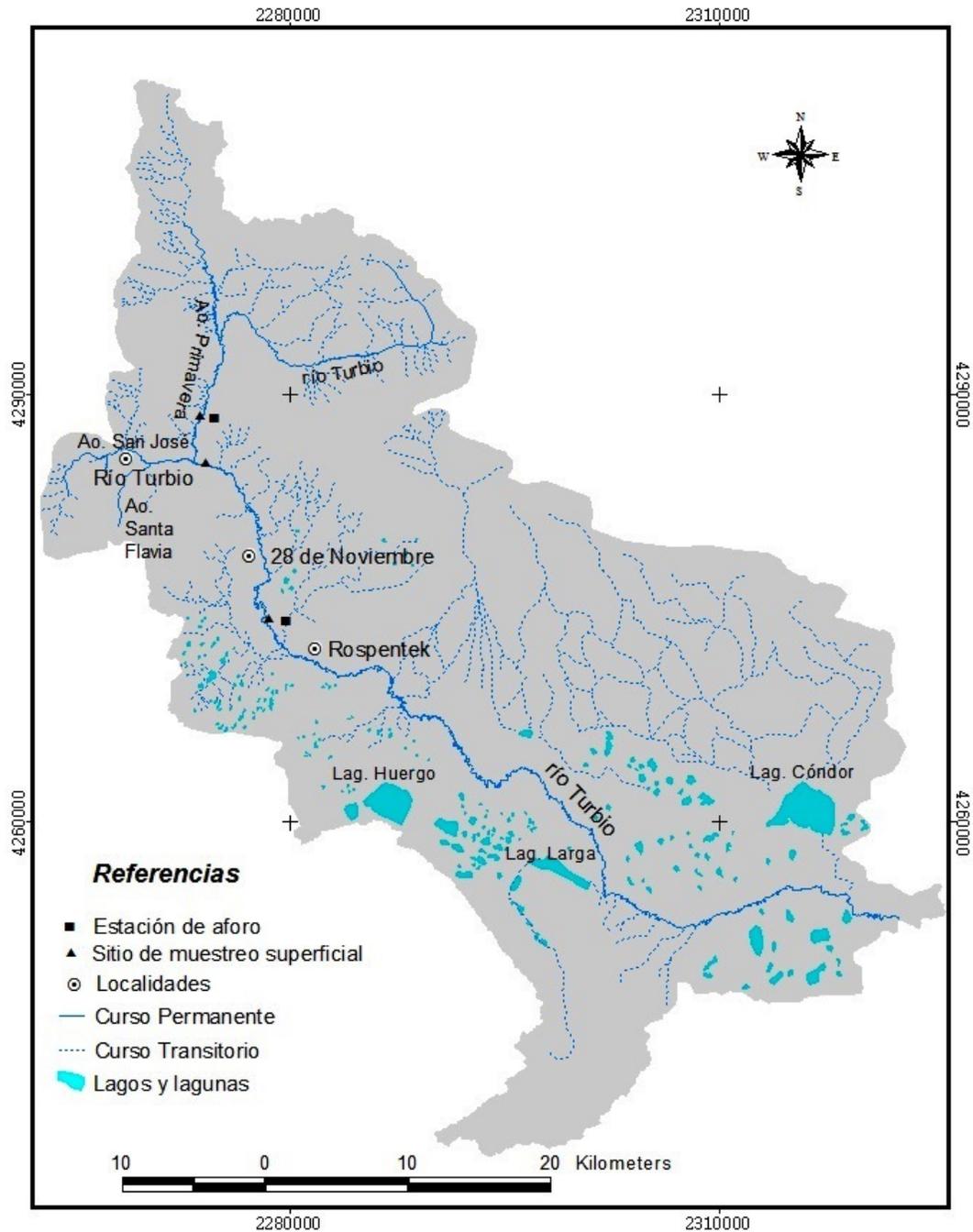


Figura 3: Mapa hidrológico de la subcuenca del Río Turbio con la ubicación de las estaciones de aforo y los sitios de muestreo de agua superficial.

La caracterización hidroquímica de las aguas comprendió: i) la determinación de los parámetros físico-químicos medidos *in situ* (pH, conductividad eléctrica, temperatura, total de sólidos disueltos), mediante el uso de una sonda multiparamétrica marca *Corning Checkmate II*; ii) la obtención de muestras en el campo y iii) el posterior envío al laboratorio para su análisis (Fig. 4).

En la toma de muestras de agua para iones mayoritarios se utilizaron botellas de vidrio color ámbar de 1000 ml, proporcionadas por el laboratorio. Para los metales se emplearon botellas con similares características de 500 ml, a las que se incorporaron acidificantes para evitar el precipitado de los mismos. En ambos casos las muestras fueron conservadas y refrigeradas hasta su procesamiento.



**Figura 4: Medición de parámetros fisicoquímicos y obtención de muestras de agua superficial en el campo.**

El análisis de laboratorio consistió en la determinación de parámetros fisicoquímicos, contenidos de iones mayoritarios y metales (Anexo II), entre ellos: alcalinidad (como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), dureza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), conductividad eléctrica de laboratorio, pH, TSD (Total de sólidos disueltos),  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , Al residual, Ca total y disuelto, Mg total y disuelto,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Si, Na total, K total,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ , Cr total,  $\text{Cr}^{+6}$ , Fe total,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Ag}^{+1}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ , As total y turbiedad. Del total de elementos analizados, algunos metales como por ejemplo el Al residual, Cr total,  $\text{Cr}^{+6}$ , Fe total,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ , debieron ser descartados por inconvenientes en los límites de detección del instrumental utilizado y la carencia de reactivos al momento de la realización de los ensayos. Es por ello que la información química antecedente sirvió como base para el análisis de metales, en

tanto que los datos generados se utilizaron para caracterizar físicamente las aguas y determinar su variabilidad a lo largo de un año hidrológico.

Para el análisis e interpretación de los datos antecedentes y generados, se recurrió a la representación gráfica como una manera sencilla de presentar la información al momento de caracterizar la subcuenca del río Turbio. El diagrama de caja o *Box Plot* se aplicó a los contenidos metálicos y parámetros fisicoquímicos a fin de proporcionar un análisis en simultáneo sobre la distribución estadística del conjunto de datos (medidas de la tendencia central, dispersión y simetría). Su construcción es simple y su interpretación directa.

En tanto, para la evaluación hidroquímica se procedió al uso del software Easy\_Quim v.4.0, el cual permitió, mediante el gráfico de Piper, distinguir el comportamiento iónico del agua y realizar el seguimiento en la evolución de las mismas a través del gráfico de Schoeller-Berkaloff. Este programa admite procesar un número de muestras significativas, convertir mg/l a meq/l para la realización de los diagramas y calcular el error analítico para validar los resultados.

### **2.1.2. Obtención y tratamiento de la información hidrológica**

De manera complementaria a la información hidroquímica y para definir el régimen de caudales al que se halla sujeto la subcuenca, fue necesario establecer estaciones de aforos representativas de las condiciones hidrológicas presentes.

El aforo, se halla fundamentado en la expresión  $Q = A \cdot V$ , donde:

$Q$  = caudal líquido, en  $m^3/s$ ;  $A$  = sección transversal de medición, en  $m^2$  y  $V$  = velocidad media de la corriente, en  $m/s$ .

Las secciones de medición se situaron en los mismos puntos definidos para estimar la calidad del recurso hídrico (Fig. 3), vale decir: la estación de aforo de calidad contrastada (Arroyo Primavera), un punto próximo a la confluencia entre los arroyos Primavera y San José y aguas abajo de la CTRT sobre el río Turbio.

La campaña de toma de datos se llevó a cabo durante el periodo 2012-2014 contabilizando los meses de primavera-verano y otoño, con excepción de los meses de invierno y época de deshielo por dificultades en la medición (Véase Capítulo 6.2).

En cada estación se realizó una primera caracterización general del tramo de estudio a fin de determinar los perfiles representativos de cada una de ellas, tanto en sentido longitudinal como perpendicular al curso de agua. Para la elección de los tramos de medición se tuvo en

cuenta la accesibilidad al sitio, la sección transversal bien definida, la ausencia de agradación o erosión del lecho, cambios de sentido de la corriente, remolinos y zonas de aguas estancas.

El levantamiento topográfico de los perfiles transversales se efectuó mediante la utilización de un nivel óptico *Leica 24X*, una mira graduada y una cinta métrica unida por dos estacas sobre ambas márgenes de la transecta (Fig. 5). Se estableció una sistemática de toma de datos. El número total de puntos registrados en cada perfil dependió de la existencia de cambios en las condiciones de sustrato o pendiente a lo largo de la progresiva, asimismo cada medición fue referida de acuerdo a su distancia en centímetros al inicio de la estaca.



**Figura 5: Detalles de las mediciones realizadas en los cursos de agua e instrumental utilizado.**

A través del registro periódico del caudal se llevó a cabo la caracterización hidráulica de las diferentes estaciones de esta subcuenca. El aforo fue realizado utilizando un Molinete *Universal F1* para determinar la velocidad de la corriente en distintos puntos de la sección y se midieron las progresivas entre verticales con cinta métrica. La medición del flujo se efectuó a tres

profundidades, correspondientes al 20%, el 60% y el 80% del calado, como se enuncia a continuación:

$$v = \frac{v_{20\%} + 2v_{60\%} + v_{80\%}}{4}$$

Cuando la profundidad era inferior a 20 cm, se realizó una única medición al 40%. Este procedimiento se desarrolló hasta completar el total de la sección.

Los datos registrados en la campaña de relevamiento topográfico y obtenidos de la caracterización hidráulica fueron procesados mediante el software AutoCAD 2010.

### **2.1.3. Procesamiento de la información hidrométrica**

Con el fin de caracterizar la cuenca hidrográfica fue necesario establecer y analizar una serie de variables morfométricas, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a partir de imágenes satelitales y un modelo de elevación digital.

Como base cartográfica se utilizó un mosaico de imágenes LANSAT 5 TM, disponibles en el sitio Web de la NASA (<http://www.glovis.usgs.gov/>), y SPOT 5 facilitadas por el Sistema de Información Territorial de la Provincia de Santa Cruz (<http://www.sitsantacruz.gob.ar/>). Para la altimetría del área de interés se empleó un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución espacial de 45 m (SRTM -Shuttle Radar Topographic Mission-), obtenida del sitio Web del Instituto Geográfico Nacional (IGN, <http://www.ign.gob.ar/>).

En campo se registraron las coordenadas de los puntos fácilmente reconocibles en el mosaico de imágenes satelitales a fin de georreferenciar las mismas y asegurar la efectividad en los resultados morfométricos.

El tratamiento de la información consistió, por un lado, en la re-edición de los datos vectoriales de ríos y cuerpos de agua publicados por el IGN (2000) en escala 1:50.000 y actualizada al año 2011, y por el otro, en la digitalización de los segmento de cauces, tanto permanentes como transitorios no representando en la base mencionada, mediante la herramienta ArcGIS 9.3®, siguiendo la metodología propuesta por Strahler (1964). Como tarea de apoyo, se obtuvieron curvas de nivel con equidistancia de 5 m para la delimitación de la subcuenca según el módulo 3D Spatial Analyst.

El conjunto de parámetros analizados incluyó variables e índices lineales que permitieron explicar la forma, el relieve y la red de drenaje de la subcuenca hidrográfica (Tabla 2).

**Tabla 2: Identificación e interpretación de las variables en estudio**

Variabes	Parámetros e Índices Morfométricos	Formula	Abreviaciones	Interpretación
Relieve	Altura máxima de la subcuenca ( $H_M$ ) Altura mínima de la subcuenca ( $H_m$ ) Pendiente media de la subcuenca Pendiente media del curso principal			
Forma y tamaño de la subcuenca	Area Perímetro Longitud de la subcuenca Longitud al baricentro Índice de compacidad de Gravelius ( $I_c$ ) Razón de elongación ( $R_e$ ) Índice de Forma ( $I_f$ )	$I_c = 0,28 * (P/VS)$ $R_e = (1,129 * \sqrt{A})/L$ $I_f = A/L^2$	P: Perímetro S: Superficie  A: Area L: Longitud del cauce principal  A: Area L: Longitud de la subcuenca	Representa el eje de la subcuenca Define la forma de la cuenca de drenaje Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente  Atiende a la relación del área de la cuenca con el cauce que la drena  Indica como se regula la concentración del escurrimiento superficial
Topología, longitud de los cauces e intensidad fluvial	Número de orden de cauces Longitud del cauce principal Relación de bifurcación ( $R_b$ ) Relación de longitudes medias de los cursos ( $R_L$ ) Densidad de drenaje ( $D_d$ ) Índice de sinuosidad del cauce principal ( $I_s$ )	$R_b = N_u / N_{u+1}$ $R_L = L_{m+1} / L_m$ $D_d = L_t / A$ $I_s = L_t / L_v$	$N_u$ : Número de cauce de orden u $L_m$ : Longitudes medias  A: Area $L_t$ : Longitud total de los cursos  $L_t$ : Longitud del talweg $L_v$ : Longitud del valle	Medida del desarrollo de la red de drenaje  Se relaciona con una diferente respuesta a las crecidas Permite inferir la etapa evolutiva de la red de drenaje  Revela el estado erosivo de la red de drenaje. Se relaciona con la litología, el clima y la cobertura vegetal  Refleja la forma del cauce

Entre los autores que han definido los diferentes parámetros morfométricos desde mediados del siglo XX y aplicados al estudio de las formas topográficas y procesos fluviales dentro de una cuenca, se encuentra en primera instancia Horton (1945). Schumm (1956) y Strahler (1964) retoman sus conclusiones y realizan modificaciones en el análisis del sistema fluvial. En España, Jordi (1985), Romero Díaz y López Bermúdez (1987) y Senciales González (1999) tratan y analizan

las diferentes variables ya definidas. El cálculo de estos parámetros morfométricos son los empleados como herramientas en el presente trabajo.

Cabe destacar, que a través de este capítulo se efectúa una primera aproximación a dicho análisis, dado la ausencia de información hidrométrica que sirva como punto de comparación.

Una aplicación concreta de estos parámetros es a través del cálculo del tiempo de respuesta de la subcuenca a las crecidas, el cual se define como el tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Chow *et al.*, 1994). Existen diferentes fórmulas para su estimación. A los fines de este estudio se recurrió a la fórmula de Kirpich (1940), una de las más tradicionalmente usadas (Fattorelli y Fernández, 2011). Esta fórmula fue desarrollada con información proporcionada por el Soil Conservation Service (SCS) y expresa el tiempo de concentración ( $T_c$ ) en horas. Así:

$$T_c = 0.000325*(L/VS)^{0.77}$$

Dónde: L = Longitud del cauce principal en metros; S = pendiente del canal en m/m.

### **3. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA**

En nuestro país, la producción de carbón comenzó hacia mediados de los años cuarenta. Impulsado por el Gobierno Nacional de ese entonces y en el marco de la empresa estatal Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), se promovía el desarrollo a través del autoabastecimiento energético y la integración regional, con la conformación de polos de desarrollo. En ese contexto la consolidación de la subcuenca de Río Turbio como punto productivo convirtió la explotación del carbón en la principal actividad de la región. Asimismo, la ubicación geopolítica del asentamiento minero, emplazada próxima al límite con el país vecino, fortaleció la soberanía nacional en una zona históricamente disputada.

Se crea así una fuerte interrelación entre la actividad económica-laboral local y la organización socio-cultural del sector, acentuada por la heterogeneidad de la migración y por el aislamiento geográfico. De esta manera, el Estado como regulador y principal garante del desarrollo productivo de este sector, promovió la radicación de empresas públicas nacionales, la provisión de infraestructura, servicios y redes para la conformación del asentamiento minero.

### **3.1. Población**

La Provincia de Santa Cruz alberga una población de 273.964 habitantes (INDEC, 2010). Con una densidad de 1,1 habitantes por Km<sup>2</sup> constituye una de las provincias menos pobladas del país. La misma se divide en 7 departamentos, de los cuales Güer Aike -de interés por encontrarse el área de estudio- representa, con una población de 113.267 (INDEC, 2010), uno de los departamentos más importantes con el 41,34 % de los habitantes ubicados en esta parte del territorio provincial. Esta distribución poblacional se manifiesta por la presencia de la capital de la provincia (Río Gallegos) a esta latitud, por lo que constituye el 84,57 % del total del departamento.

La población se dispone de manera desigual a lo largo del territorio, los asentamientos urbanos se encuentran aislados geográficamente y escasamente interconectados.

En el área de interés, parte del desarrollo productivo significó la creación y consolidación de centros urbanos. Estos centros evolucionaron en directa relación con las variaciones en los ciclos de la mina y sus picos positivos y negativos sufrieron procesos abruptos migratorios, dadas las necesidades de mano de obra o reducción de personal.

La estructura urbana queda conformada en orden de importancia por las principales localidades de la cuenca: Río Turbio, 28 de Noviembre, Julia Dufour; y en segundo lugar por los asentamientos de Mina 3, Rospentek (dependencia del Ejército Argentino) y El Turbio.

Inicialmente, en el año 1943 con la puesta en explotación del carbón se establece el primer campamento minero en el área próxima a la Mina N° 1. Ya para la década del 50' la población superaba los 3.000 habitantes (<http://www.ycrt.gov.ar/>). Lo que había surgido como un asentamiento de mineros se convierte en un centro urbano. Es así que se traslada la población hacia un nuevo sitio protegido del viento y la nieve, donde hoy día se emplaza la ciudad de Río Turbio. La misma fue expandiéndose de acuerdo a las necesidades imperantes del momento, sin atender a un ejido urbano definido ni pautas de planificación y con deficiencia en la provisión de los servicios públicos.

Asimismo su crecimiento se ve impedido por: a) la ubicación geográfica que ocupa la localidad en cercanías de la frontera con Chile, b) la posición topográfica extrema en proximidad al valle del arroyo San José, su embalse y el bosque de lenga, c) los diferentes usos del suelo, por un lado el desarrollo del parque industrial y por el otro la extracción de carbón sobre la mayor parte

de la sierra Dorotea. Se puede observar que efectivamente la ciudad de Río Turbio presenta limitaciones de desarrollo.

Al igual que Río Turbio, la delegación comunal de Julia Dufour, ubicada en la intersección de la ruta Nacional N° 40 y el camino de ingreso a la mencionada ciudad, se creó como un campamento afectado a las actividades del ferrocarril. Este último, concretado con el fin de transportar el mineral al puerto de embarque en Río Gallegos para su posterior comercialización, disponía de mano de obra que con el tiempo fue absorbida por la mina (<http://www.pionerosrioturbio.com.ar/>). La importancia de este poblado radica en que se halla en contacto directo visual con la CTRT.

Parte del proceso de expansión de la cuenca minera significó la fundación, en el año 1959, de la localidad de 28 de Noviembre como un centro político-administrativo a 13 Km al sureste de Río Turbio (<http://www.28denoviembre.gob.ar/>). Es así que se diferencia de las localidades antes mencionadas en su estructura urbana y en la ocupación del suelo, ya que emerge como una ciudad planificada donde se desarrollan actividades administrativas y comerciales, para secundar la principal que se realiza en la cuenca.

La distribución de la población está representada mayoritariamente por Río Turbio con el 55,04 % de los habitantes (8.814), seguida de 28 de Noviembre con el 38,38 % (6.145). En tanto los asentamientos de Julia Dufour, Rospenteck, El Turbio y Mina 3 comprenden el 6,57% de la restante, (INDEC, 2010). En total, dentro del área involucrada la cantidad de habitantes ascienden a 16.011.

La dinámica evolutiva poblacional para el período intercensal 2001-2010 está marcada por un crecimiento de aproximadamente 24 % para Río Turbio, 28 de Noviembre y el destacamento de Rospenteck, en tanto Julia Dufour muestra un incremento del 16 %. Cabe destacar la tasa migratoria en el departamento de Güer Aike, que representa un total de 10,6 %, de los cuales 11.521 habitantes (95,97 %) corresponden a inmigrantes de países limítrofes.

### **3.2. Actividad socio-económica**

Históricamente, y hasta la década del 80', la explotación de carbón representó la principal actividad socio-económica en la cuenca como único proveedor a la usina de San Nicolás (Provincia de Buenos Aires). Sin embargo, su integración al sistema energético nacional ha ido decreciendo en las últimas décadas, generando un importante déficit comercial y financiero.

Los avatares políticos y económicos del momento sumados a la pérdida de relevancia del carbón como fuente energética (frente al petróleo y el gas) acentuaron la desinversión, la falta de rentabilidad de la actividad y las deficiencias en el funcionamiento de la empresa, la cual se ha prolongado a través del tiempo.

Ante este panorama, la economía regional no logró reestructurarse hacia otras actividades alternativas, en parte mitigada por la asistencia del estado nacional, que agudizó la crisis existente. La ganadería ovina, actividad identificativa de la región, hoy en retroceso, no adquirió la importancia necesaria para generar una nueva economía en la subcuenca, en tanto la producción hortícola se desarrolló en pequeña escala para abastecer solo al mercado local.

Se destaca el papel que representa YCRT en la comunidad, por lo que la creación de la CTRT es considerada un proyecto estratégico que viene, por un lado a contribuir con el aporte de energía eléctrica a escala nacional, y por el otro, a promover el resurgimiento de la actividad a través de un plan de inversión y abastecimiento para mejorar la productividad del carbón y hacer frente al aumento de la demanda de mineral.

De esta manera, durante la última década se ha generado una reactivación del sector acompañada del incremento de la población y la expansión de la ciudad con los consabidos conflictos ambientales – sociales que esto genera. Los habitantes se componen de una cantidad significativa de migrantes de las provincias del Norte argentino y de países vecinos, que llegan:

- Con expectativas laborales asociadas a las necesidades que requiere la construcción y/u operación de la CTRT,
- Demanda de mano de obra por parte de YCRT,
- Contratados por empresas constructoras relacionadas a los requerimientos habitacionales.

A su vez, desde la comunidad, se está en búsqueda de una reconversión hacia actividades de ecoturismo y recreación que revaloricen la belleza paisajística, los espacios verdes, la fauna y la flora. A tal fin fueron implementados circuitos turísticos tales como Mirador de los Cóndores y paseo por el bosque de lenga, identificándose puntos de interés, entre ellos la pista de esquí Valdelén en proximidades de Mina N° 1, la Reserva Natural Urbana Cerro de la Cruz y la Reserva Provincial Punta Gruesa, ambas en el ámbito de la localidad de 28 de Noviembre, y la Reserva Hidroecológica del Dique San José en Río Turbio (Véase Capítulo 6.4.1).

### 3.3. Relación de la Central Termoeléctrica con la sociedad

A lo largo de los años, el desarrollo de la mina asociado al crecimiento demográfico, significó la vinculación laboral-social de los habitantes de la cuenca, por lo cual la explotación del carbón se convirtió en un símbolo de identidad para la región.

Con la creación de la CTRT se conciben dos visiones antagónicas en la comunidad, que vistas a nivel regional genera cierto nivel de incertidumbre.

Como aspecto positivo, se destaca la posibilidad de reactivar la principal actividad económica local, favoreciendo la sustentabilidad y el desarrollo regional. Esto trae aparejado aumento en la demanda de trabajo, tanto en la etapa constructiva como operativa de la usina y en el propio yacimiento (por el incremento en la extracción de mineral y las mejoras en la calidad laboral), favoreciendo el escenario económico y el aporte al crecimiento provincial.

Como aspecto negativo, el incremento demográfico que suscita esta nueva actividad ocasiona insuficiencias en la provisión de servicios básicos hacia la comunidad, situación no planificada y que acentúa la deficiencia en infraestructura que presentan las localidades. Asimismo el aumento de la construcción particular, sin atender a un ordenamiento territorial, enfatiza la tendencia que se viene dando hacia el crecimiento sin planificación de Río Turbio, con los trastornos que esto genera en el entorno (Véase Capítulo 6.4.2). Inclusive, el incremento de la migración se percibe como amenaza hacia la seguridad de la comunidad.

Varias son las dudas e incertidumbres que se originan entre los pobladores de la cuenca en relación con el proyecto de la CTRT, entre otras:

- Incertidumbres en cuanto a los impactos ambientales que se generarían en la subcuenca y que se hace extensivo a la localidad de Río Gallegos, considerando que el abastecimiento de agua potable a la población procede del río homónimo.

- El efecto que pueda ocasionar en el curso de agua superficial, a través de la demanda de agua que se requiere para el funcionamiento de la central (Véase Capítulo 6.4.2).

- La ubicación de la central en el valle del río, las emanaciones gaseosas que ésta genere y la posibilidad de que se produzca el fenómeno conocido como "inversión térmica", hecho ya acontecido en la subcuenca con la quema de residuos sólidos que afectó a la población y al entorno natural (*Com. pers. Tiberi, 2015*).

- Incógnita acerca del lugar de disposición del material estéril proveniente del procesamiento del mineral. De acuerdo a la propuesta de la empresa ante un incremento de la producción se prevé un aumento de los estériles.

- Desconocimiento sobre la capacidad de lixiviación de las cenizas que la usina genere durante la combustión del carbón y el sitio de disposición final de la misma.

## **4. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO-NATURAL**

### **4.1. Clima**

El clima de un lugar puede ser definido como el conjunto de manifestaciones atmosféricas y meteorológicas que en él suceden (Seoáñez Calvo, 2002). Los componentes que intervienen en su descripción están dados por los parámetros estadísticos de sus variables meteorológicas, integrados a través del tiempo (decenas de años).

Para la caracterización climática de la zona bajo estudio, se dispone de datos acotados de temperatura y precipitación de la estación meteorológica emplazada en el predio del Ejército Argentino (51° 31' 56" S - 72° 19' 42" W) próximo al embalse San José en la ciudad de Río Turbio, en una posición topográfica de 297 m.s.n.m.

Del análisis de los datos meteorológicos surge una serie disponible incompleta que abarca desde el año 2001 al 2009. Se registra información faltante en el paso diario para la precipitación, lo que incide en los valores mensuales durante algunos meses y en el total anual acumulado. Previo análisis de la misma y de forma complementaria, se utilizaron los 30 años de datos existentes para la localidad chilena de Puerto Natales (ubicada 30 km al suroeste de Río Turbio) para contrastar dicha información. Se trata de una estación situada bajo las mismas condiciones pluviométricas que el área de interés, por lo cual se realizó un filtrado para disminuir la interferencia que algunos datos ocasionan en el conjunto.

En este contexto se mantuvo una entrevista con personal del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Río Gallegos a fin de recabar información climática que ayude a caracterizar el área de estudio. Los únicos datos registrados por este organismo datan del período 1956 a 1958. Asimismo se indicó que el tipo de precipitación registrada por la estación bajo análisis es pluvial, exceptuándose por lo tanto la medición sólida, predominante en los meses de invierno (*com. pers. Bonfili, 2015*). De la misma manera, se expone como limitante metodológica la localización de esta

estación, próxima a una construcción, por lo cual no cumple con la normativa emitida por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2008).

A pesar de las condiciones planteadas, y que el período de tiempo analizado para definir el clima de la región es insuficiente, la ventaja de estos datos radica en que se encuentran dentro del área de interés.

#### 4.1.1. Temperatura

La ciudad de Río Turbio presenta para el período analizado, una amplitud térmica extrema que varía entre 18 y 26 °C, en tanto los valores medios mensuales se hallan en el orden de los 12,2 °C.

Las temperaturas atmosféricas medias mensuales muestran que el mes más frío del año es junio (-0,5 °C) con un mínimo de -4,2 °C, y el mes más caluroso febrero (11,7 °C) con un máximo de 16,7 °C. Se presenta en la Figura 6 la marcha anual de los diferentes valores mensuales de temperatura media, máxima media y mínima media. Cabe destacar que durante los meses de invierno, de mayo a agosto, la temperatura mínima media se mantiene por debajo de 0 °C.

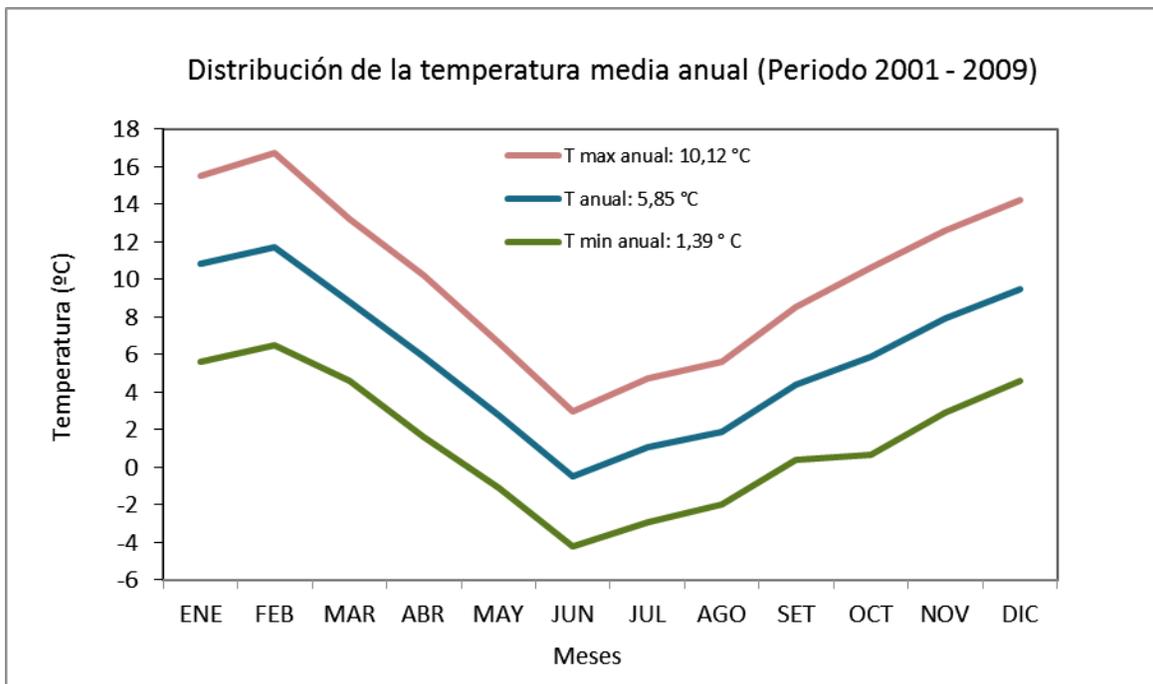


Figura 6: Valores medios mensuales de temperatura para Río Turbio.

#### **4.1.2. Precipitación**

La precipitación media anual en el área alcanza los 500 mm/año (Atlas Recursos Hídricos, 2010). Durante la mayor parte del año las lluvias ocurren de manera líquida, salvo en la estación invernal entre los meses de mayo y agosto, donde se presentan en estado sólido, como nevisca y/o nieve.

La pluviosidad media para la serie analizada es de 308,73 mm/año. Los meses más lluviosos se concentran entre abril y marzo (47,95 y 35,1 mm/mes, respectivamente), mientras que el mes más seco se registra en julio (15 mm/mes), Figura 7. Aun así, la distribución de la precipitación a lo largo del año no denota una marcada estacionalidad, dentro del tipo de régimen pluvial pacífico.

Por otra parte, el gradiente pluviométrico a lo largo de la subcuenca va disminuyendo al alejarse del eje cordillerano. En base a modelados climáticos Kreps *et al.* (2012) establecen para el área de la Estancia Glencross, en la desembocadura de la subcuenca, precipitaciones medias del orden de los 338 mm.

#### **4.1.3. Climatología del área**

Los parámetros climatológicos analizados corresponden a un clima de tipo templado frío según el Atlas de Recursos Hídricos (2010).

De la relación entre la precipitación y la temperatura mensual a lo largo de un año (Fig. 7) surge que el período más húmedo corresponde a los meses de invierno, con las precipitaciones en forma nival, en coincidencia con los sectores cordilleranos, y la consecuente disminución de la temperatura. La humedad relativa en el mes de julio es superior al 80% (Atlas Recursos Hídricos, 2010). En contraposición, durante los meses más cálidos, el incremento de la temperatura y el régimen de los vientos aumentan la evaporación, superando a los milímetros de agua caída en la cuenca.

Este tipo de comportamiento se observa claramente a partir del mes de abril, con el aumento de la precipitación y el paulatino descenso de la temperatura hacia los meses de invierno. De la misma manera, el comienzo de la primavera hacia el mes de septiembre queda signado por el marcado incremento de temperatura y el deshielo de la nieve acumulada en la cuenca (Fig. 7).

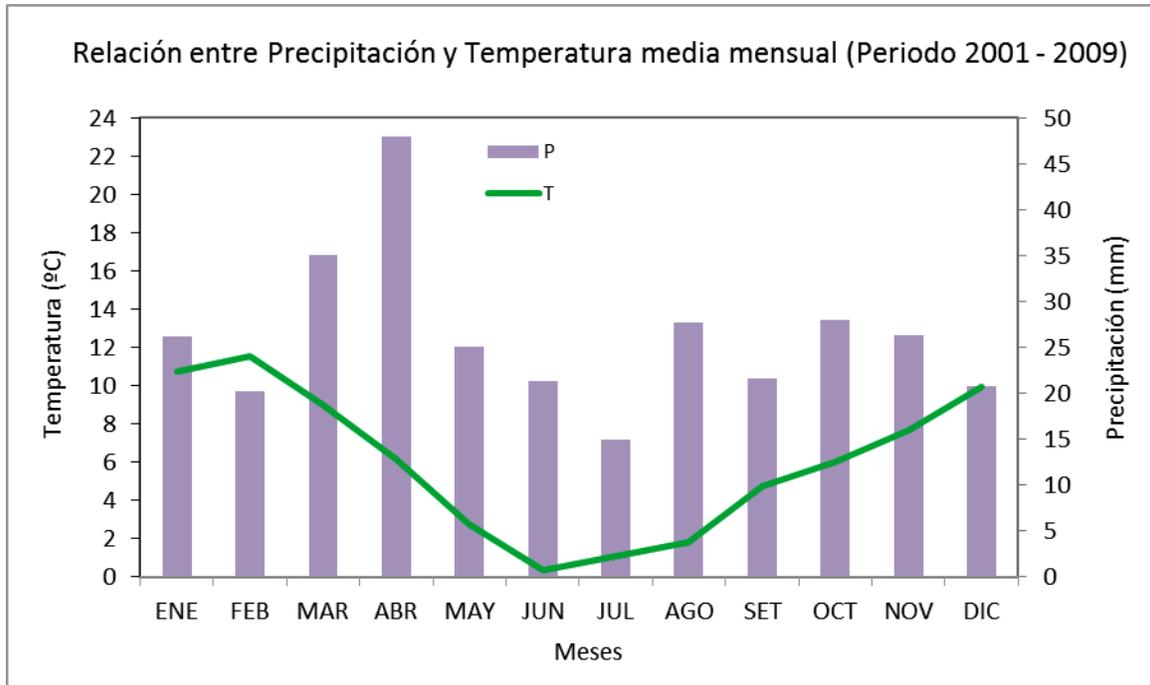


Figura 7: Variación de la precipitación y la temperatura a lo largo de un año para el área de Río Turbio.

## 4.2. Geología

El área de interés se extiende desde la región cordillerana extrandina que incluye las cabeceras de los arroyos Primavera, San José y Santa Flavia entre otros, hasta la Patagonia extrandina alcanzando la cuenca media del río Gallegos.

Desde el punto de vista morfoestructural, esta se ubica en la Cuenca Austral y se halla constituida por tres grandes unidades (Ghiglioni *et al.*, 2010), siendo las dos primeras exclusivas del ámbito Chileno. Ubicado en el sector oeste, el *Arco magmático* está formado por una cadena de rocas intrusivas y volcánicas que corresponden a la continuación sur de la Cordillera de Los Andes. Hacia el pie oriental de los Andes Patagónicos, la *Faja plegada y fallada* se halla integrada por rocas metamórficas, intrusivas y sedimentarias, las que fueron deformadas durante los movimientos tectónicos en el Cretácico-Terciario. Por último, la *Planicie extrandina* se extiende desde la Precordillera hasta el Océano Atlántico, estando en superficie formada por depósitos glaciarios y en subsuelo por los de rellenos sedimentarios volcánicos de la Cuenca Austral.

A escala de la subcuenca del río Turbio se reconoce en el flanco occidental, una sucesión de diferentes unidades sedimentarias cretácicas y cenozoicas de origen marino y continental, que constituyen el ala oriental de un anticlinal asimétrico. Esta estructura está representada por un gran bloque homoclinal con rumbo general N –S disminuyendo su grado de inclinación en forma

progresiva de 25° a 5° E, hasta alcanzar la subhorizontalidad en el ámbito de la Patagonia extrandina. Es hacia estas latitudes donde logra su mayor expresión un conjunto de unidades pleistocenas, de génesis glaciaria, que apoyan en discordancia sobre las sedimentitas precedentes, (Furque y Caballé, 1987).

Sobre estas unidades se desarrollan las acumulaciones más modernas de edad holocena, depositadas en un ambiente fluvial y derivadas de movimientos de remoción en masa.

En base a la Hoja Geológica 5172 III Yacimiento Río Turbio (Malumian y Panza, 2000) se describen a continuación en orden cronológico las unidades formacionales reconocidas que afloran en el área de río Turbio: Cerro Cazador, Monte Chico, Cerro Dorotea, Río Turbio, Río Guillermo, La Escondida, Santa Cruz, como así también los depósitos pleistocenos y holocenos, Figura 8.

Las rocas más antiguas corresponden al Cretácico Tardío. Son las pelitas y areniscas finas marinas de la **Formación Cerro Toro** (Cecioni, 1955b), asignada al Campaniano temprano, aflorando en el lado Chileno.

Por encima y en concordancia se encuentra la **Formación Cerro Cazador** (Feruglio, 1949, Leanza, 1972), del Campaniano tardío. Comprende una sucesión de areniscas finas a medianas, gris verdosas, con intercalaciones de areniscas coquinoideas calcáreas, niveles pelíticos, conglomerados que representan un ambiente marino somero.

En relación concordante cubren a la anterior, las areniscas castañas y verdosas, glauconíticas y fosilíferas de la **Formación Monte Chico**, de ambiente marino somero de edad Maastrichtiano. Este nombre formacional fue asignado por Malumián y Panza (1996) para distinguirlo de los estratos del Cerro Cazador de Feruglio (1938, 1949) y Hüinicken (1955) y de la **Formación Cerro Cazador** de Leanza (1972). Cabe destacar, que esta formación no se halla representada en el esquema geológico debido a la escala de trabajo.

La **Formación Cerro Dorotea** (Feruglio, 1938), de edad paleocena, se dispone en forma transicional sobre las sedimentitas anteriormente mencionadas. Se halla constituida por areniscas finas a medianas grises, verdes y pardas que se intercalan con niveles de conglomerados finos, coquinas y bancos pelíticos. Presenta abundantes fósiles marinos e intercalaciones de estratos carbonosos, que indica una progresiva continentalización de la cuenca.

De manera discordante, sobre la antes mencionada, en el Eoceno medio a tardío se deposita la **Formación Río Turbio** (Feruglio, 1938). Corresponde a una secuencia alternante entre sedimentitas marinas y continentales portadoras de bancos de carbón, formada por una espesa sucesión de areniscas finas a gruesas, asociadas a niveles de pefitas finas, pelitas y coquinas caracterizadas por la presencia de abundantes restos de vegetales.

La **Formación Río Guillermo** (Hünicken, 1955) se apoya mediante una discordancia erosiva por arriba de la Formación Río Turbio, conformada por sedimentitas de origen continental, integrando una secuencia monótona que alternan bancos de conglomerados finos a gruesos, areniscas medianas a gruesas y limonitas y arcilitas.

Bajo la denominación de **Formación La Escondida** (Danderfer, 1981) se identifica a un conjunto de sedimentitas continentales y marinas. Las primeras están representadas por unidades conglomerádicas intercaladas con areniscas medianas a gruesas. Los términos marinos se hallan compuestos por areniscas finas a gruesas con algunas intercalaciones de conglomerados finos y contenido fosilífero. Se sitúa estratigráficamente entre las formaciones Río Guillermo y Santa Cruz, con una edad Oligoceno superior a Mioceno inferior (Furque y Caballé, 1993).

Cubriendo estos depósitos se ubica la **Formación Santa Cruz** (Ameghino, 1898), de edad Mioceno inferior - medio, con una amplia distribución areal desde la región precordillerana hasta la costa atlántica. Corresponde a un conjunto de sedimentitas y piroclastitas continentales, constituidas por areniscas finas a gruesas, arcilitas tobáceas y tobas con niveles tufíticos que contienen una reconocida fauna de macrovertebrados fósiles.

Durante el Pleistoceno, toda la región estuvo cubierta en varias oportunidades por mantos de hielo que avanzaron hacia el ámbito pedemontano. Los depósitos así generados cubren parcial o totalmente a las formaciones infrayacentes alcanzando gran extensión areal. Se hallan representados por una serie de sedimentos glaciales, sin entidad formacional, que conforman un conjunto heterogéneo de till, compuesto de bloques y gravas inmersos en una matriz areno-gravosa a areno-limosa, carentes de estructuras y mal seleccionados, y sedimentos glaciafluviales con mejor selección y predominio de rodados inmersos en una matriz arenosa, con bajo grado de consolidación.

Al Pleistoceno y Holoceno se atribuyen acumulaciones de origen fluvial limitadas a los sedimentos que se extienden sobre los niveles de terrazas de los principales ríos y las llanuras de inundación. Corresponden a las primeras, gravas con matriz arenosa, arenas finas a gruesas

subordinadas y escasas pelitas. En tanto en las segundas la composición varía desde gravas gruesas a muy gruesas, arenas finas a gruesas y subordinado limo y arcilla. Restringidos al Holoceno se reconocen depósitos de remoción en masa, compuestos de materiales sueltos de masas de bloques en una matriz arenosa-péltica, totalmente caóticos y depósitos eólicos mantiformes, constituidos por arenas finas a medianas, que ocasionalmente cobran entidad bajo la forma de dunas.

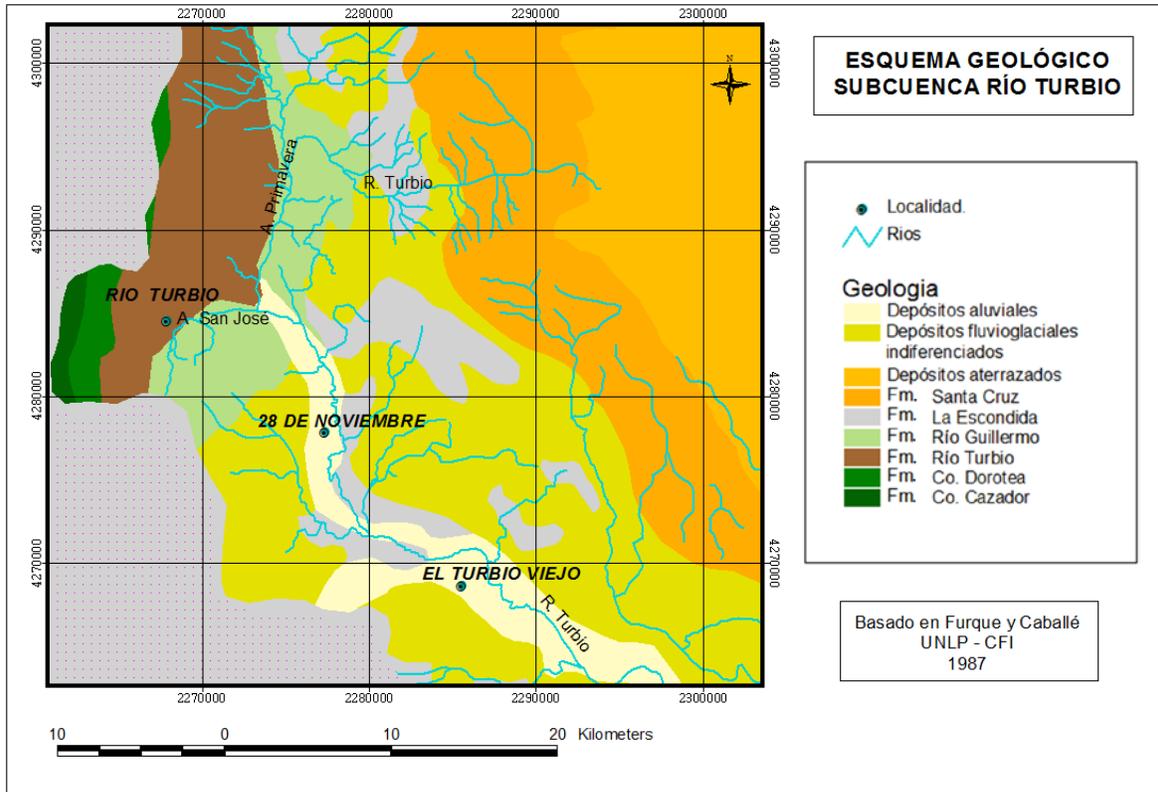


Figura 8: Esquema Geológico de la subcuenca del río Turbio (Basado en Furque y Caballé, 1987).

### 4.3. Geomorfología

Los principales eventos morfogenéticos que afectaron a la región pueden atribuirse a procesos endógenos, relacionados con la orogenia andina y la actividad volcánica, posteriormente modificados por acción exógena, entre la que se destaca la glaciaria, que alcanzó su mayor desarrollo durante el Plio-Pleistoceno (PASMA, 2001). A estos rasgos geomórficos se le superponen otros actuales derivados de procesos fluviales, de remoción en masa y eólicos que en conjunto labraron el paisaje. El mismo posee una relativa juventud e inestabilidad ya que durante el Pleistoceno medio la evolución del valle de la cuenca estuvo regulada por los avances y

retrocesos de los glaciares originados en el manto de hielo de los Andes Patagónicos Australes hacia el ámbito extraandino (Ercolano *et al.*, 2014).

En función de lo expuesto, a lo largo de la superficie de estudio se reconocen como las unidades de mayor significación:

#### **4.3.1. Geoformas Glaciarias**

El modelado glaciar alteró de manera sustancial el paisaje preexistente. Las forma del relieve que quedaron grabadas fueron tanto depositacionales como erosivas. Entre las primeras, se destacan las morenas frontales cuyos arcos indican diferentes posiciones de estabilidad de los hielos en los valles del Gallegos y las morenas de fondo a las que se asocian morfologías glaciales. La actividad erosiva quedó evidenciada particularmente en los valles, vinculado al ensanchamiento y profundización de la cuenca hídrica.

El modelo glacial en vigencia para la región del estrecho de Magallanes fue propuesto por Meglioli (1992) quien reestructuró el esquema básico de Caldenius (1932) identificando un total de seis avances glaciales, aunque para la región del río Gallegos verificó sólo cuatro. Meglioli (1992) reconoce como “Glaciación Bella Vista” (equivalente al Inicioglacial de Caldenius, 1932 y Gran Glaciación Patagónica de Mercer, 1976) al frente morénico más externo y antiguo de la región, con características de una glaciación pedemontana. Recientemente, Ercolano *et al.* (2015) reconocen dos avances pedemontanos previos a dicha glaciación, los cuales habrían alcanzado las inmediaciones del meridiano 70º 30’ O.

Con posterioridad y vinculado a la reactivación de sistemas regionales de fallas transversales al eje cordillerano (Diraison *et al.*, 1997), se produjo el encauzamiento de los glaciares pleistocenos que fluyeron a lo largo de la cuenca desde el ámbito cordillerano (“*canyon cutting event*”, Rabassa y Clapperton 1990). Así, las siguientes glaciaciones que reconoce el modelo de Meglioli (1992) conforman arcos morénicos que atraviesan el valle alcanzando posiciones sucesivamente más cercanas al frente cordillerano y son las denominadas Glaciaciones Glenn Cross y Río Turbio.

Dos pulsos glaciales más fueron referidos por Sagredo *et al.* (2011) para la última glaciación: las morenas Arauco que se desarrollan a lo largo del límite internacional y ya en territorio chileno las morenas Lago Pinto, Figura 9.

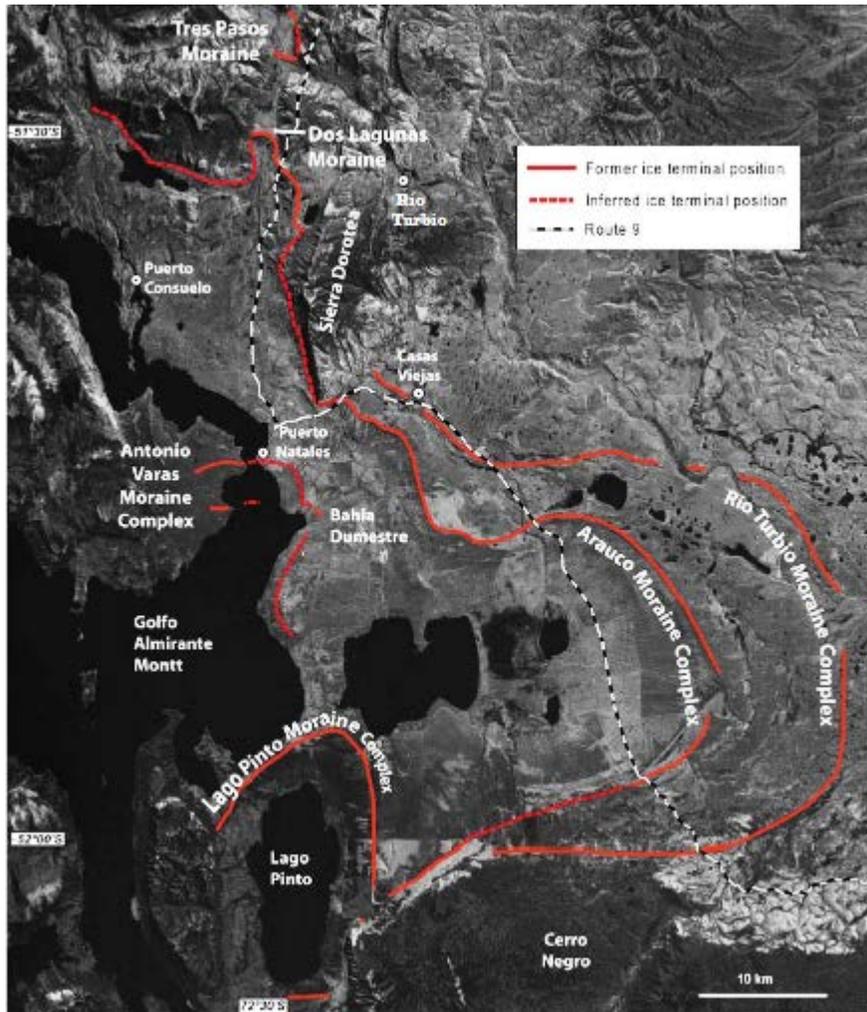


Figura 9: Diferentes posiciones de los arcos morénicos para la penúltima y última Glaciación dentro de la subcuenca (Modificado de Sagredo *et al.* 2011).

Distinta es la situación respecto de los avances glaciales que ocurrieron por los valles de la subcuenca del Turbio, dado que aún no se los ha correlacionado con los del modelo regional vigente. Al respecto cabe mencionar la observación de Sagredo *et al.* (2011) quienes encuentran algunos remanentes de drift glacial adosado al flanco occidental de la Sierra Dorotea. Similares observaciones fueron realizadas durante las tareas de campo a lo largo del valle del arroyo San José (Fig. 10) y río Turbio, donde fueron identificadas las morenas laterales que evidencian el encauzamiento de los glaciares.



**Figura 10: Valle del arroyo San José en su límite con Chile, aguas arriba del dique. Se observa el escaso relieve relativo de la artesa glaciaria indicada por la flecha anaranjada, la cual presenta mallines en toda su extensión. Las flechas rojas señalan las morenas laterales.**

En el área, y relacionadas con las morenas de fondo, han sido identificadas numerosas lagunas de diferentes tamaños conformando una topografía en canasta de huevos vinculada a un paisaje de desintegración del hielo. El caso más relevante lo constituye la laguna Huelgo, donde un arco morénico determina su endicamiento (Furque y Caballé, 1987). De la misma manera, las extensas planicies glaci-fluviales, ligadas a la ablación de los hielos, se presentan conformando los niveles de terrazas superiores de ambos ríos. Caracterizan a esta unidad, la topografía horizontal y los materiales gruesos.

Hacia el flanco oriental del área, donde el río Turbio da paso al río Gallegos, se observan gruesas acumulaciones correspondientes a morenas de fondo, las que componen un relieve ondulado con cordones alineados subparalelos, integrados por lomadas de bajo relieve relativo y elongados en el sentido del flujo de los hielos. Este paisaje ha sido posteriormente afectado por procesos de erosión eólica y disección glaci-fluvial/fluvial (Fig. 11). Estos depósitos a nivel regional son parte del límite sur - sureste de la subcuenca del río Turbio, actuando los mismos como divisorias de aguas.



**Figura 11:** A lo lejos se observa el paisaje de suaves lomadas correspondiente a un ambiente subglacial, las morenas de fondo. En primer plano se puede ver depósitos de Drift compuestos por till y gravas glaciales.

Son numerosos los rasgos erosivos glaciales que han quedado impreso en el valle del río Turbio. Entre ellos se diferencian los circos glaciales, valles colgantes y las hombreras glaciales que se destacan en las zonas de las altas cumbres que hacen de divisoria con Chile (SEGEMAR, 2006). Asimismo, en el área más elevada de la Meseta Latorre se distinguen de manera relíctica antiguos circos hoy erodados. Aun así, el paisaje erosivo-depositacional glaciario se halla mejor representado al norte de los arroyos San José y Primavera (Fig. 10 y 12). Esta zona, identificada como la antigua artesa glacial, se caracteriza por tener poco relieve relativo, con bajas lomas y depresiones ocupadas por pequeñas lagunas y mallines. Actualmente ese paisaje se encuentra muy desdibujado debido a la acción fluvial y antrópica.

#### **4.3.2. Geoformas fluviales**

Vinculados a los actuales cursos fluviales se han formado, desde el Pleistoceno Superior, varios niveles de terrazas fluviales. Su génesis se vincula a cambios del nivel de base ocasionados por el retroceso de los glaciales que resultaron en variaciones de caudal. En general, se trata de acumulaciones de gravas y arenas gruesas, fracciones clásticas heredadas de una condición hídrica anterior, en la cual el caudal de estos sistemas fluviales era muy superior al que presentan en la actualidad (SEGEMAR, 2006).

En la subcuenca del río Turbio se reconocen dos niveles principales de terrazas (Malumian y Panza, 2000).

La *terrazza I*, de edad pleistocena, se desarrolla en ambas márgenes del valle del arroyo San José y el río Turbio. Estos depósitos consisten en conglomerados gruesos poco consolidados, de

matriz arenosa y escasamente seleccionado, capas delgadas de arena y en menor proporción, lentes limo-arcillosos.



**Figura 12: Valle del arroyo San José aguas abajo del dique. Se observa la presencia de mallines y la intervención antrópica sobre el área. El suavizado del paisaje que se visualiza en segundo plano es debido a la acción erosiva glaciaria.**

La *terrazza II*, Pleistoceno superior-Holoceno, se eleva directamente por sobre la planicie aluvial del río Turbio. Se la encuentra en ambos márgenes del río, desde la estancia La Primavera hacia el este, presentado una mayor participación de sedimentos finos limosos, respecto al nivel de terraza I.

El actual valle se caracteriza por presentar un diseño de drenaje meandroso con un ancho de planicie de inundación que varía entre 10 y 25 m.

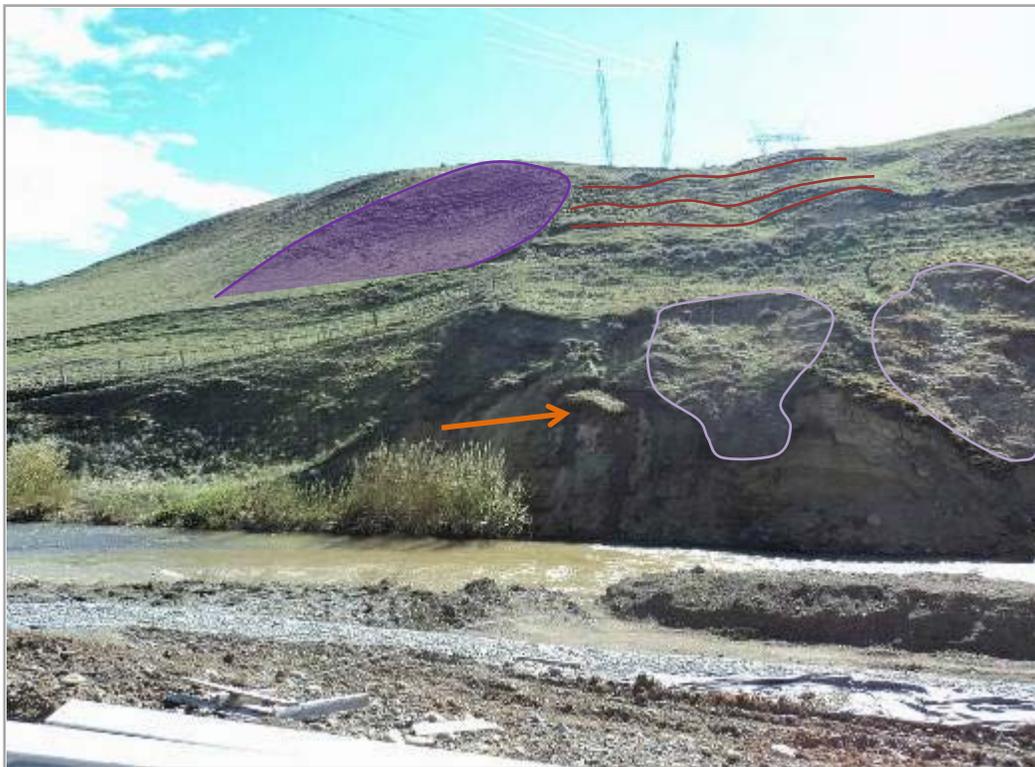
#### **4.3.3. Procesos de Remoción en Masa**

Las formas relacionadas con movimientos gravitacionales tienen una presencia destacada en el ámbito de estudio. Las pendientes pronunciadas de los valles están afectadas por caída de rocas, en aquellos sectores donde las paredes son empinadas y carentes de vegetación, y por

procesos de solifluxión y deslizamientos, como se observa en la Figura 13. A su vez, el crioclastismo compone una carpeta detrítica en los sectores topográficamente más altos.

Un claro ejemplo de estos procesos sucede sobre una de las márgenes del río Turbio, en el recodo que crea este curso superficial al tomar la dirección norte-sur. En este sitio, se puede dar lugar a deslizamientos sobre las laderas, producto de la desestabilización de la misma por parte del meandro que erosiona la margen izquierda y por los procesos propios de remoción en masa, que ocasionan la caída del material (Fig. 13).

En cuanto a las formas generadas por los procesos eólicos estas no presentan la suficiente envergadura como para ahondar en su descripción, estando además cubiertos por arbustales espinosos que impiden su observación directa.



**Figura 13: Fenómenos de remoción en masa en el recodo que forma el río Turbio al tomar la dirección N-S, frente a la CTRT. En color violeta, muesca de un antiguo deslizamiento. En líneas bordo, solifluxión. En color gris, actual frente de deslizamiento. Asimismo se observa la intercepción del nivel freático con la topografía (flecha color naranja).**

## **5. PANORAMA DE LA EXPLOTACIÓN MINERAL, SU RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO Y LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA**

Es de interés fundamental para generar la línea de base ecohidrológica, definir el grado de intervención que ha tenido la subcuenca del río Turbio debido a la actividad minera desde sus comienzos y hasta la actualidad, su interacción con el recurso hídrico y el ecosistema en general.

Con el nuevo emplazamiento energético surgen modificaciones en el uso y procesamiento que se dará al mineral.

Es así que se describe, por un lado, el sistema extractivo y de purificación del mineral dentro de YCRT y cuál ha sido la utilidad del mineral hasta este momento y por otro, el sistema que lleva a la utilización del carbón por parte de la CTRT para generar energía, todos ellos, procesos de alta importancia ecohidrológica.

El análisis de detalle de la composición que presenta el mineral, así como el procesamiento asociado, proviene de los estudios realizados por YCF (Yacimientos Carboníferos Fiscales) en el comienzo de sus actividades, citado en trabajos inéditos sobre el carbón de Río Turbio y en el EIA elaborado por la UTN (2011).

En el caso de la información correspondiente al transporte del producto desde mina hacia la central, el abastecimiento a la planta y la alimentación de la caldera, se obtienen a partir del análisis del EIA realizado para el emplazamiento de la CTRT.

Para esta etapa, los principales aspectos ambientales a los que se halla vinculada la creación de la CTRT son el incremento en la producción de carbón, la disposición no solo de los volúmenes de estériles generados antes de la trituración para el ingreso a la usina, sino también, la ubicación de las cenizas originadas durante la combustión de dicha materia.

### **5.1. Explotación de carbón: la evolución de la cuenca**

La producción del mineral y su uso en Argentina es muy modesta. De las centrales eléctricas que existen en el país y que dependen de los combustibles fósiles para su funcionamiento sólo la usina termoeléctrica de Agua y Energía en San Nicolás (Provincia de Buenos Aires) fue abastecida por el mismo hasta el año 2000.

La producción ha tenido altibajos a lo largo del tiempo y en los últimos años se ha mantenido en niveles muy bajos.

Actualmente, con la creación y futura puesta en funcionamiento de la CTRT se le ha dado a esta materia prima una nueva revalorización a través del plan de reactivación cuyo requerimiento se estima en 1.200.000 tn por año.

### **5.1.1. Descripción geológica-minera**

La subcuenca de río Turbio alberga mantos de carbón potencialmente económicos que han sido explotados desde la década del 40. Se extienden en territorio argentino de forma longitudinal con rumbo N –S, desde la zona de Cancha Carrera, ubicada a 25 km al norte de la ciudad de Río Turbio, hasta casi el límite con Chile, a unos 15 km al sur de la ciudad, donde finaliza la subcuenca.

La explotación de carbón se realiza mediante un sistema subterráneo de galerías para acceder a dichos mantos donde se instalan los frentes de explotación.

Correspondientes al Terciario inferior, se disponen los horizontes productivos en dos complejos carbonosos. En conjunto constituyen lo que se conoce como Grupo Sierra Dorotea. Es de destacar que estos horizontes se hallan intercalados con material estéril por lo cual su potencia aprovechable se reduce y la depuración que requiere para ser utilizado se vuelve más complicada.

El complejo inferior está integrado por los mantos “Inferior”, con un espesor promedio aprovechable de 1,20 a 1,50 m, y “Superior” con 1,35 a 1,50 m, desarrollándose en coincidencia con el valle del arroyo San José.

El complejo superior constituido por los mantos “B”, “A” y “Dorotea” presentan un espesor que varía entre los 0,50 m, 1 m y 1,80 m respectivamente. El manto “B” evidencia su condición lenticular al exhibir una distribución saltuaria, en tanto el manto "A" se extiende desde la zona de Rospentek hasta el Norte de la Estancia Primavera. En el caso del manto "Dorotea" corresponde al horizonte productivo más importante, dado su potencia y extensión areal. Presenta una superficie de 47 Km de longitud, en sentido N – S y un ancho variable entre 2 y 7 km, y es el que aportará el mayor volumen en cuanto a tonelaje a producir en la cuenca.

### **5.1.2. Características del mineral**

Se presentan a continuación las particulares composicionales del carbón de Río Turbio, de utilidad para vincular la incidencia del mineral con el quimismo del agua superficial.

Es un carbón de tipo hulla y está determinado como de tipo “bituminoso alto volátil C” hasta “sub-bituminoso A”, de acuerdo a la clasificación de carbones ASTM (YCF, 1984). Se destaca en promedio el alto porcentaje de cenizas que se genera en la combustión del carbón "Doroetea" (18%) y del manto "Superior" (34 %). La misma es rica en SiO<sub>2</sub> (48 - 58%) pero pobre en oxido de aluminio (20 - 24 %). Estos valores resultan bajos para los rendimientos energéticos que se pretendían según la norma.

En virtud de lo antes expuesto, la Tabla 3 presenta los porcentajes promedio de elementos intervinientes en la composición del Carbón Bruto y del Carbón Depurado grueso y las cenizas a 1000 °C.

**Tabla 3: Características del carbón de Río Turbio. Extracto de informe inédito de YCRT (Filippini, 1962)**

Carbón	Bruto	Depurado Grueso
<b>Análisis Elemental (%)</b>		
Carbono Fijo	73,4	75,8
Hidrógeno	7,9	6,2
Nitrógeno	0,9	1
Azufre Combustible	1,1	1
Oxígeno	16,7	16
<b>Análisis de las Cenizas (%)</b>		
Sílice	51,8	51,8
Oxido Férrico	10,1	14,4
Oxido de Aluminio	22,2	18,5
Oxido de Calcio	9,3	8
Oxido de Magnesio	3,6	2,1

### 5.1.3. Utilización del carbón

Hasta la fecha, el carbón en bruto extraído de la mina y una vez procesado sigue dos caminos. Por un lado, abastece a la propia usina eléctrica del yacimiento que provee de energía a todas las operaciones que allí se realizan, y por el otro, es transportado por ferrocarril hasta el Puerto de Punta Loyola lugar de salida al mar Argentino, donde se embarca con destino local o extranjero, Figura 14.

Con la incorporación de la Central Termoeléctrica de 240 MW, una parte del carbón - 1.200.000 Tn- luego de haber sido procesado y con los parámetros requeridos, se lo trasladará a la nueva planta para ser utilizado como combustible, generar energía eléctrica y aportar al Sistema Interconectado Nacional.

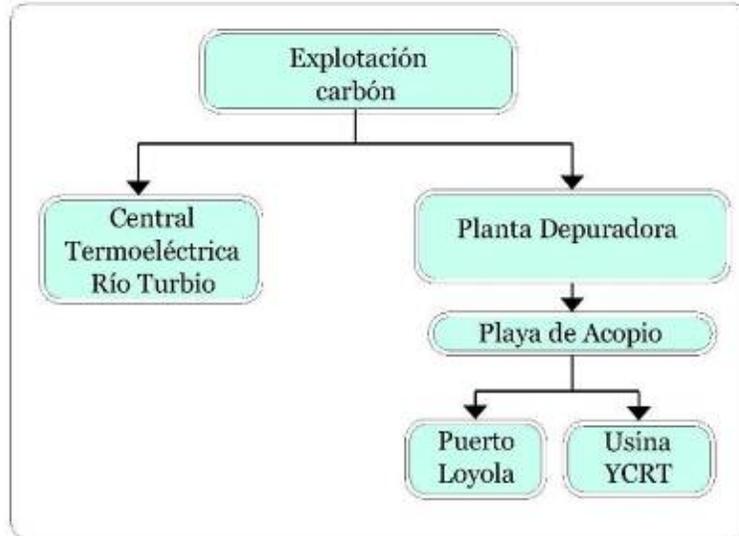


Figura 14: Diagrama de flujo del trayecto que realiza el carbón.  
(Adaptado del EIA, UTN 2011)

Ante este incremento en la producción de carbón, la usina de YCRT necesitará aumentar también su capacidad generadora para poder abastecer las diferentes etapas del proyecto. Se presume, según el EIA, que una fracción de aproximadamente 60.000 Tn anuales de carbón depurado molido serán utilizadas como combustible en la generación de energía para la propia usina.

#### 5.1.4. Tratamiento del carbón

La depuración del carbón se realiza con la finalidad de mejorar la calidad del mineral que va a ser utilizado en la usina o comercializado, según lo que requieran los usuarios. Se eliminan las impurezas de su masa, ya sea intercalaciones de estériles que poseen el manto o las incorporaciones que se hagan del techo y piso dentro del laboreo subterráneo.

Se han llevado adelante estudios densimétricos y ensayos de depuración sobre el carbón, que demostraron que la tecnología que más se adapta a su purificación es la denominada "vía húmeda" y dentro de esta la de "baño en medio denso", las cuales ofrecen la mejor solución

técnico-económica para utilizar el carbón como combustible y/o materia prima para su industrialización. Este medio denso consiste en una solución formada por magnetita ( $Fe_3O_4$  y con frecuencia interposiciones isoformas de Mg, Mn, Zn, Al, Ti hasta V) pulverizada mezclada con agua.

Los procesos que involucran el tratamiento del carbón consisten en:

**5.1.4.1. Pretratamiento por clasificación primaria del carbón bruto**

Se efectúa a través de una zaranda vibratoria, con un tamiz de 150 mm, que realiza una separación en dos tamaños. El material mayor es conducido a una trituradora de mandíbulas donde el tamaño se reduce a menos de 150mm. El carbón bruto molido y el carbón que pasa a través del tamiz se unen en su descarga y serán conducidos al siguiente paso.

**5.1.4.2. Depuración del carbón grueso mayor a 20 mm en medio denso**

El material se separa en dos productos, el que flota (carbón) y el que se hunde (estéril).

En una primera etapa por medio de un separador gravitacional con flujo laminar se separa el estéril de los mixtos. El producto flotante, con densidad inferior a 1,8 g/cm<sup>3</sup>, compuesto de carbón y mixtos será evacuado a dos zarandas.

El carbón predepurado que sale en esta etapa puede ser usado como producto comercial en tamaños de 150 a 20 mm, con tenores que oscilan entre 19 y 24% de cenizas.

El carbón con los mixtos de 150 a 20 mm lavado y desagotado del medio denso es dirigido hacia un molino a rodillo para ser triturado a un tamaño menor a 50 mm, que luego se transporta mediante una cinta de descarga, al segundo separador (densidad menor a 1,45 g/cm<sup>3</sup>).

En la siguiente etapa, el separador por gravitación en medio denso separa del carbón los mixtos anteriormente triturados y parcialmente desenlodados. El carbón depurado que sale del segundo separador pasa por una zaranda donde se drena el medio denso y posteriormente se descarga en tolva, pasando por una trituradora a tambor donde se molerá el material a un tamaño de menos de 20 mm.

**5.1.4.3. Depuración del carbón fino 20 - 0,5 mm en medio denso. Lavado ciclónico**

El carbón bruto menor de 20 mm que pasa a través de las zarandas se deriva a un repartidor y mezclador junto con el triturado menor de 20 mm que proviene de la separación en medio denso. Se efectúa la eliminación de la fracción menor de 0,5 mm y el desagote. El carbón de 0,5 a 20 mm cae a dos mezcladores donde se unirá al medio denso. Cada uno de ellos alimenta a dos ciclones.

En los ciclones, por acción de la fuerza centrífuga, el carbón que se separa del estéril sale por la boca superior y por la boca inferior sale el estéril. Cada ciclón descarga en una zaranda, donde se desagota el medio denso.

En el último tramo de las zarandas los productos son lavados con agua limpia y clarificada para recuperar al máximo la magnetita. El carbón depurado que sale de las zarandas y que tiene alrededor de un 29% de agua, es transportado a una centrífuga.

El estéril desagotado en las zarandas se une al estéril grueso del separador por flujo laminar y es descargado en una tolva.

El lavadero ciclónico tiene un sistema propio para el almacenamiento, circulación y la regeneración de su medio denso.

#### **5.1.4.4. Clarificación de aguas residuales**

El agua residual del proceso se carga con finos provenientes de toda la operación. La tecnología aplicada permite recuperar el mineral de los lodos gruesos y el tratamiento en espesadores radiales para su clarificación y reincorporación al circuito.

Asimismo, por carecer del floculante económica y técnicamente adecuado para la recuperación del carbón de los lodos de 0,5 a 0,1 mm, estos carboncillos son eliminados con los lodos a la pileta de decantación.

El proceso de clarificación de aguas residuales básicamente tiende a mantener el contenido de sólidos en un valor bajo y estable, por lo que es preciso evacuarlos continuamente. Con la clarificación se logra disminuir el consumo de agua limpia, evitando que los lodos en circulación provoquen la disminución de la calidad del carbón y pérdidas mayores de magnetita.

#### **5.1.5. Efluentes generados durante el procesamiento del mineral**

Como última instancia del proceso, la generación de estéril fino denominado lodo, con un tamaño de partícula menor a 0,5 mm, es eliminado a través del espesador radial como una suspensión de finos de carbón y arcillas en agua, que luego descargará a una de las piletas de lodos que se encuentran sobre la planicie de inundación del arroyo San José y a un rebalse del mismo espesador que retornará al circuito de lavado, Figura 15.

La concentración del total de sólidos (TS) en el agua varía a lo largo de todo el sistema. La descarga a la pileta de lodos queda comprendida entre 200 a 250 g/l. Los lodos están formados por un 20% de partículas de carbón y un 80% de arcillas, cuarzo, silicatos y carbonatos (IDEMSA, 1987). El porcentaje de carbón se reduce significativamente a medida que disminuye el tamaño de las partículas, mientras que las impurezas aumentan en las fracciones de menor tamaño, como ser: cuarzo, yeso, óxido de hierro y material arcilloso. En tanto ese material arcilloso, es un coloide de difícil separación del agua. Es por eso que el INA (1999) ha estudiado la clarificación de las aguas industriales.

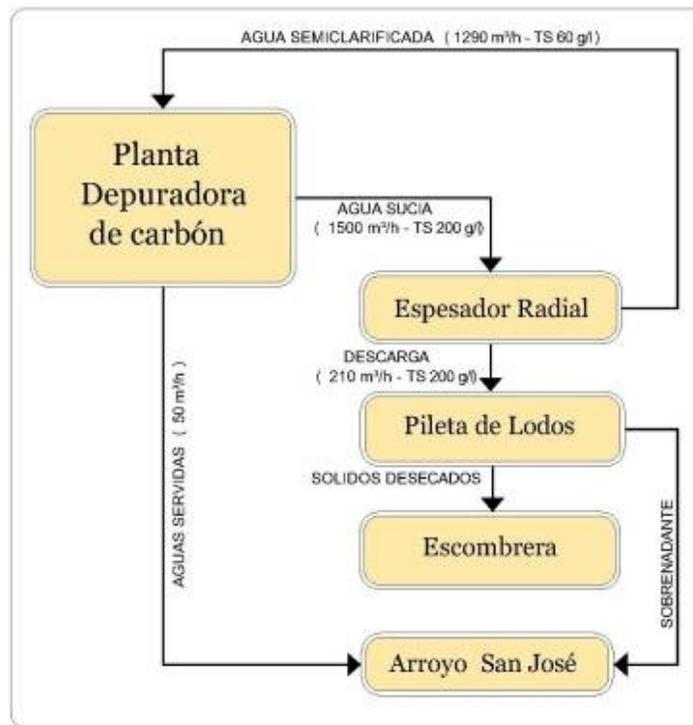


Figura 15: Interacción entre las diferentes etapas que requiere el procesamiento del mineral, uso del agua superficial y las descargas al ambiente (Extracto del EIA, UTN 2011)

Cabe señalar que las diferentes unidades operativas que componen el yacimiento YCRT (mina, usina, talleres Centrales y Planta Depuradora) generan efluentes que son volcados al arroyo San José. Los mismos, estudiados por Caballero (2008), no son incluidos en este trabajo aunque inciden en las características del agua superficial de la cuenca.

### **5.1.6. Generación de estériles**

El componente estéril generado por el proceso corresponde al material preclasificado, comprendido por la roca de caja y el estéril de lavado, con un tamaño que varía entre los 5 y los 200 mm. La composición de los mismos resulta ser arenisca, intercalaciones de esquistos (conteniendo venillas de calcita y gránulos finos de pirita), pizarras y carbón.

Estos estériles se depositan por medio de una cinta transportadora sobre el terreno natural, en la margen izquierda del arroyo San José (opuesta al YCRT, a 700 m de distancia de la planta depuradora).

Actualmente está escombrera ocupa un área de unos 2.000 m de longitud, 500 m de ancho y una altura de 100 m.

### **5.1.7. Agua**

La captación de agua industrial se hace mediante endicamiento al arroyo San José, ubicado frente al yacimiento. A través de un sistema de bombas centrífugas se almacena en un depósito de 2.000 m<sup>3</sup> en el predio de la Planta Depuradora donde se distribuye para la misma planta, la central termoeléctrica y minas.

El consumo de agua diaria que realiza la planta depuradora en su capacidad máxima, equivalente a 14 hs de producción, corresponde a 4200 m<sup>3</sup>/día. En tanto el consumo diario de la usina se halla en el orden de 1.800 m<sup>3</sup>/día, mientras que la mina requiere 60 m<sup>3</sup>/día.

La calidad fisicoquímica de agua que se necesita para procesar el mineral queda comprendida en los siguientes contenidos: sólidos en suspensión: 3 - 7 mg/l; pH: 6,9 - 7,5; conductividad: 50 - 70 µS/cm; alcalinidad: 100 - 150 mg/l; cloruros: 20 - 30 mg/l; sulfatos: 20 - 400 mg/l; temperatura: 2 - 16° C.

## **5.2. Central Termoeléctrica Río Turbio**

### **5.2.1. Circuito de preparación del carbón para alimentar la CTRT**

El combustible de abastecimiento para la central será provisto en Bocamina 5 por YCRT.

Uno de los requisitos que debe cumplir el carbón para alimentar a la usina es el tamaño de partícula que ingresará a planta. El mineral tiene que pasar por unos sistemas de trituración antes de ingresar a la caldera.

El proceso implica el tratamiento, transporte y almacenamiento del combustible para ser incorporado al sistema. Uno de los aspectos más relevantes es el alto volumen de material a ser gestionado.

Una vez extraído el mineral de bocamina, y a partir de la pila dispuesta en el predio, el carbón con sus estériles pasa por un sistema de trituración primaria, que reduce el tamaño del carbón a menos de 150 mm. Esta etapa contará con sistemas de retención de polvos a través de filtros de mangas.

El acopio por día será de aproximadamente 4.000 Tn., siendo este valor la capacidad máxima de carga del sistema de transporte.

Las etapas de trituración primaria y secundaria se conectan mediante cinta transportadora. Esta última corresponde a una torre de transferencia deprimida, en donde la presión de aire en su interior es menor que la presión atmosférica, de manera de evitar fugas y contar con sistema de retención de polvos. En esta torre el carbón se tritura hasta los 50 mm, tamaño en el cual es transportado hasta el predio de la Central.

Para el transporte del mineral desde Bocamina 5 hacia la usina se construyó una cinta transportadora de aproximadamente 2,1 km de extensión, paralela a las vías del ferrocarril y a la ruta de acceso a Río Turbio, en terrenos de YCRT (Fig. 16). La misma se eleva por encima de 7 m en el cruce de la Ruta Nacional N°40, justo antes del ingreso al predio de la Central. La cinta cuenta



Figura 16: Imagen de la izquierda, cinta transportadora de carbón en su primera etapa, la flecha indica el sentido de circulación de la misma hacia la CTRT, actualmente se halla con cubierta protectora. Imagen de la derecha, vista panorámica de la cinta desde mina 5 hacia la CTRT.

con techo en chapa galvanizada y protecciones laterales para evitar el ingreso de animales o personas.

Una vez que ingresa el mineral al predio de la Planta puede seguir dos caminos:

- Ingresar directamente a la caldera. Con lo cual el mineral se tritura previamente hasta los 10 mm, dimensión en la que puede introducirse al sistema de alimentación. La reducción de tamaño se efectúa por medio de una torre de trituración terciaria, la cual se encuentra deprimida y cuenta con un sistema de retención de sólidos a través de filtros manga.

- Ser acopiado hasta su utilización. El almacenamiento del combustible se realiza en un tamaño de 50 mm. El parque de carbón se encuentra dispuesto sobre el terreno natural, presenta un sistema de captación de lixiviados y excedentes de precipitación que permite recuperar dichos líquidos. La recolección se realiza a través de un colector perimetral ubicado en la base del parque que conduce los efluentes hacia un sector de decantación y una planta de separación primaria, para el retiro del carbón que será devuelto a la pila. Los líquidos clarificados se reutilizan en los procesos de regado del parque.

En el interior del edificio de caldera, se prevé que el generador de vapor disponga de dos cintas que descarguen el mineral en 4 silos de 600 m<sup>3</sup>, para un abastecimiento de 9 días.

### **5.2.2. Características del sistema de generación de energía eléctrica**

La generación de energía eléctrica se basa en el funcionamiento de dos turbinas de vapor que movilizan sendos generadores eléctricos que alimentan la estación transformadora, que abastecerá al Sistema Interconectado Nacional. La potencia bruta del generador es de aproximadamente 240 MW, compuesta por dos módulos de 120 MW.

El vapor se genera en una caldera de lecho fluidizado donde se produce la combustión controlada del carbón, bajo la incorporación de insumos que favorezcan el control de los gases de escape. La combustión se lleva a cabo a temperatura controlada y la propia caldera presenta un sistema de recuperación de calor.

Uno de los objetivos de implementar este tipo de tecnología de lecho fluidizado es que favorece la combustión de carbones con altos contenidos de cenizas y/o azufre -como el caso del carbón de río Turbio- a través de la incorporación de sustancias afines como la piedra caliza (cal), con lo cual se puede retener en el sorbente cerca del 95% del contenido de azufre del carbón.

Mientras que el aire de combustión es forzado ascendentemente a altas velocidades, haciendo que las partículas se fluidifiquen.

Como principales insumos involucrados en la generación de energía eléctrica se encuentran:

- Carbón, dimensión de alimentación menor a 10 mm.

- Agua de proceso, proveniente del río Turbio.

- Piedra caliza (Ca), aditivo para la captura de azufre proveniente del carbón. Acondicionada en términos granulométricos y de contenido de humedad.

- Amoníaco (solución acuosa), aditivo para el control de la generación de óxido de nitrógeno (en medio reductor) a través de la chimenea.

- Arena, material inerte como medio de combustión del lecho fluidizado.

Interesa particularmente el agua de proceso. Abastece a la caldera y es extraída del río, tratada previamente en una planta de ósmosis inversa, para asegurar una calidad especificada dada por el fabricante de la misma, de modo tal de no deteriorar los sistemas mecánicos del generador y la turbina.

La calidad del agua de proceso - utilizada para la generación de vapor- debe cumplir con una serie de especificaciones técnicas, como ser: concentraciones de Fe, Cu, SiO<sub>2</sub> menores a 0,01; 0,003; 0,02 mg/kg respectivamente, dureza menor a 0,001 mg/kg y pH entre 8,5 - 9,6. Asimismo el sistema de ósmosis inversa consiste en la circulación forzada del agua a través de una membrana semipermeable con el objetivo de separar y extraer las sales disueltas, los compuestos orgánicos, los pirogénicos y la materia coloidal. En este proceso se debe reducir los contenidos del total de sólidos disueltos (TSD) en un 90 - 95 %.

El sistema de agua es semicerrado, con un abastecimiento inicial para la puesta en marcha del sistema. Una vez en operación el requerimiento de abastecimiento se acota a las necesidades de reposición, por purgas o pérdidas y al consumo de agua para personal y tareas generales complementarias de la planta.

En la Figura 17 se presenta un esquema general de ingresos y egresos del sistema integral de generación de energía eléctrica, observándose los principales componentes generados, como ser: emisiones gaseosas, efluentes y residuos sólidos (cenizas).



precipitación de los sólidos arrastrados y la recirculación del agua clarificada, para su uso en el mismo parque.

Otro aspecto ambiental fundamental derivado del proceso de combustión del carbón, corresponde a la producción de cenizas, polvos y material particulado arrastrado por el flujo de gases de escape.

El carbón posee en sí mismo un 16 % de cenizas y como es abastecida la caldera con este material sin procesar, se aumenta la generación de cenizas a un 30 %. Asimismo, el mineral presenta contenidos de azufre del orden de 1 a 1,5 %, por lo que debe agregarse cal para absorber los gases ácidos. Esta cal en polvo queda incorporada en las cenizas. Por lo tanto, el balance másico de cenizas volantes, de fondo y cal arroja que por cada tonelada de carbón que alimenta la CTRT se producen entre 40-50% de residuos sólidos o cenizas.

Esas son originadas durante la actividad productiva y no tienen interés directo en relación a la actividad principal, disponiéndose en un almacén transitorio. El depósito es un recinto cerrado, estanco y deprimido con un sistema de captación de polvos con una capacidad aproximada de 25.500 tn para el acopio de 15 días de producción, considerando el funcionamiento permanente de las calderas durante las 24 hs diarias. Pasado ese lapso de tiempo el volumen generado deberá ser dispuesto en forma ambientalmente compatible con la Legislación Ambiental local o podrá reutilizarse como insumo para otra actividad.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Caracterización morfométrica de la subcuenca del río turbio**

#### **6.1.1. Delimitación de la subcuenca**

La subcuenca del río Turbio, con un área de drenaje de 1991 km<sup>2</sup>, posee un desarrollo morfológico dominante en sentido N – S, desde sus nacientes en la zona de Cancha Carrera hasta el sitio conocido como Loma Rospentek, donde adquiere una orientación al SE hasta su confluencia con el río Gallegos, para totalizar unos 78,68 km de elongación (Fig. 2). Es en este último punto donde se ubica el baricentro de la subcuenca y por tanto se define su simetría. Asimismo, el perímetro se halla en el orden de los 313,7 km, reforzando así el dibujo geométrico de una subcuenca alargada.

El sector de cabeceras discurre encajonado entre dos unidades morfoestructurales, al O por un homoclinal (Véase Capítulo 4.2) y al E por la Cordillera Chica y la Meseta Latorre. La estructura homoclinal, con actitud meridional, representa el límite internacional que a su vez es divisoria de las aguas que drenan hacia el océano Pacífico y Atlántico. La Cordillera Chica y la Meseta Latorre forman parte de las divisorias principales que separan a esta de la correspondiente naciente del río Coyle.

El sector intermedio e inferior, recorren un amplio valle con pendientes suavizadas producto del modelado glacial al que estuvo sometida el área, enmarcada por lomadas morénicas de distinta edad. Por el norte y recostado al flanco sur de la Meseta Latorre, la divisoria se prolonga en un arco morénico de la Gran Glaciación Patagónica. Por el sur el límite se halla definido por un complejo de lomadas glaciarias jóvenes que se corresponden con el límite internacional y reciben la denominación de "Complejo Morénico Arauco" (Sagredo *et al.*, 2011). El cierre se extiende a lo largo del interfluvio con el río Rubens.

La forma de la subcuenca puede ser hallada de diversos modos según diferentes autores. Es así que a partir de los índices de compacidad de Gravelius ( $I_c$ ), de forma ( $I_f$ ) y de la razón de elongación ( $R_e$ ) (Véase Capítulo 2.1.3) se determina la forma que posee la misma. Estos índices sirven para ver el mayor o menor grado de circularidad de la subcuenca - siendo el modelo utilizado el valor de 1 por ser un círculo perfecto - y la relación en el comportamiento hidrológico del área. De esta manera, los valores obtenidos quedan comprendidos respectivamente en 1,968, 0,321 y 0,68. En el primer caso, valores mayores a 1,75 se corresponden con una cuenca de tipo rectangular oblonga a casi rectangular (alargada). Para los siguientes dos casos, valores menores a la unidad implican formas alargadas. De aquí que esta morfología tiene un importante rol en el tiempo de concentración de las aguas y la capacidad de disminuir las crecidas (Véase Capítulo 6.2.3).

### **6.1.2. Descripción Fisiográfica**

Los rasgos fisiográficos más sobresalientes son las serranías y mesetas que se hallan en el área de cabecera de la subcuenca como ya se indicara. Sobre la estructura homoclinal del oeste, los agentes externos elaboraron un paisaje de serranías cuyas mayores altimetría corresponden a la Sierra Dorotea y el Cerro Vega Mala con valores de 770 y 818 m s.n.m., respectivamente. Mientras que hacia el E se elevan la Cordillera Chica y la Meseta Latorre con alturas que superan los 1000 m s.n.m. (Fig. 18).

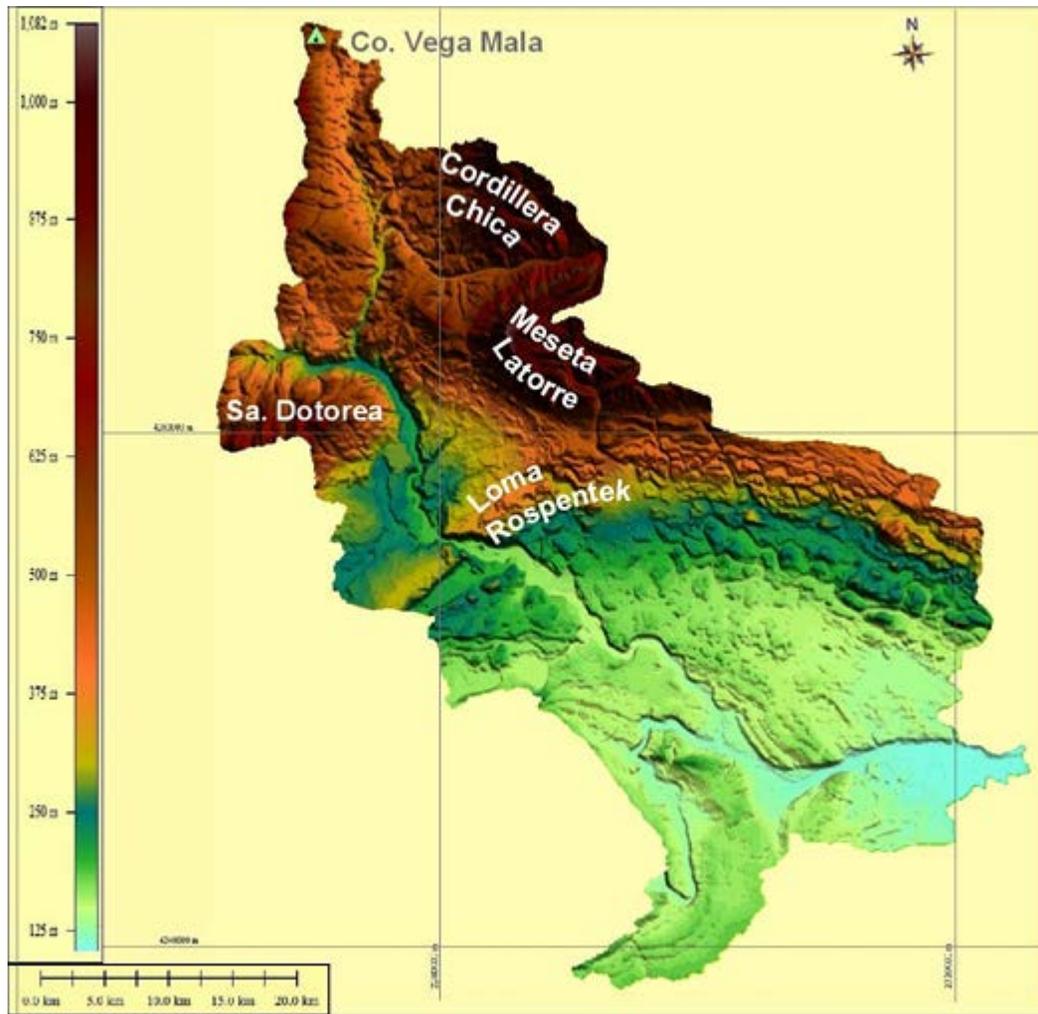


Figura 18: Mapa de relieve de la subcuenca del Río Turbio con sus rasgos fisiográficos más sobresalientes.

Entre la zona de mesetas y serranías y la red hidrográfica actual tiene lugar el denominado “paisaje intermedio” (Furque y Caballé, 1987) que ocupa una posición topográfica variable entre los 700 y 500 m s.n.m. Este paisaje está particularmente bien representado en el tramo medio e inferior de esta. Se trata de terrenos suavemente ondulados que constituyen niveles aterrazados de origen glacifluvial (Fig. 19).

Furque y Caballe (1987) distinguen una tercera unidad fisiográfica que comprende el piso del valle actual. Las cotas descienden desde los 330 m s.n.m. en las cabeceras hasta 106 m s.n.m. en la desembocadura.



Figura 19: Vista al NE de la Meseta Latorre y de la localidad de 28 de Noviembre sobre la margen derecha del valle del río Turbio. En el sector intermedio depósitos de origen glaciario conforman una terraza glacifluvial.

### 6.1.3. Hidrografía

La subcuenca posee una red de drenaje bien definida, de diseño dendrítico a escala regional, cuyos cursos de aguas principales son de carácter permanente.

El río Turbio nace de la confluencia de los arroyos Primavera y San José (Fig. 3). El arroyo Primavera, con un recorrido de 8,72 km y una pendiente del 7 %, se origina de la unión del arroyo de Oro que, desde la zona de Cancha Carrera, drena hacia el S para encontrarse en cercanía de la estancia Primavera con un drenaje de importancia que desciende desde la Cordillera Chica. Cabe señalar, que este último es identificado por los lugareños también como río Turbio. Por su parte, el arroyo San José, que procede de la serranía que define el límite internacional, ocupa una artesa glaciaria que atraviesa transversalmente la estructura homoclinal. En el trayecto de sus 6,84 km y con una pendiente del 4 %, recibe por la margen sur las aguas del arroyo Santa Flavia que tiene sus nacientes en la sierra Dorotea, donde prospera un extenso bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*). La ciudad de Río Turbio ocupa el sector del interfluvio previo a la confluencia de ambos arroyos. Inmediatamente después de dicha unión, se presenta un extenso mallín intervenido antrópicamente en parte por la obra de canalización de las aguas del arroyo Santa Flavia.

En su discurrir hacia el sur y a lo largo de 82,57 km, el río Turbio inicialmente de carácter anastomosado, adquiere a la altura de la localidad de 28 de Noviembre una mayor sinuosidad ( $I_s = 0,87$ ) hasta convertirse con el paulatino descenso de la pendiente (en el rango de 0,2 %) en un río de diseño meandroso, con desarrollo de lagunas semilunares y sectores de estrangulamiento.

La red de drenaje muestra a lo largo de su trayecto controles de diversa naturaleza.

El tramo de cabeceras se ajusta, por un lado, a los lineamientos derivados de las unidades morfoestructurales y, por el otro, responde al sustrato sedimentario cenozoico, de baja permeabilidad, por el que circula, generando cursos de régimen permanente (Véase Capítulo 4.2). Asimismo, puede establecerse una diferencia entre los tributarios efímeros que aportan al cauce principal: el sistema de drenaje que colecta desde la margen izquierda es más denso, con mayor capacidad de escurrimiento y consecuentemente con cauces más profundos que los de la margen derecha. Esto podría deberse a la orientación de las caras de insolación de las estructuras y la capacidad de concentrar las aguas que provienen tanto de las precipitaciones solidas como del derretimiento de la nieve (Fig. 20, Perfil A – A'). En este sector, la densidad de drenaje se halla bien integrada y despojado el sustrato de toda cobertura boscosa, por lo que se corresponde con valores del orden de los 0,95 km/km<sup>2</sup>.

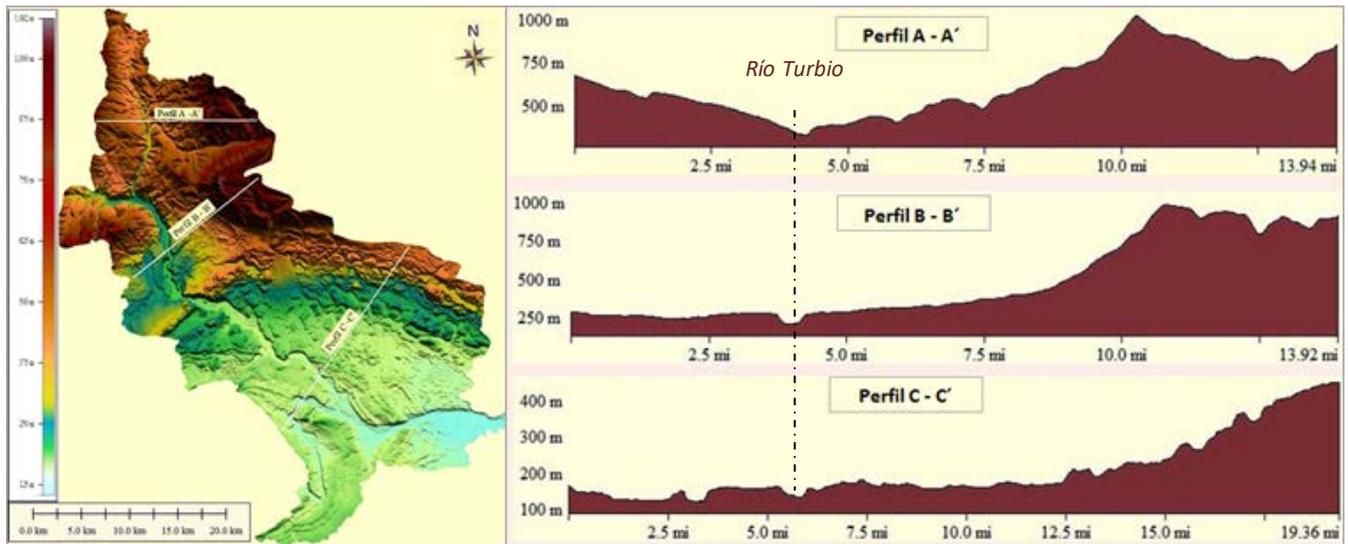


Figura 20: Perfiles transversales a la subcuenca en su tramo alto, medio y bajo respectivamente.

No se deben descartar las modificaciones introducidas al arroyo San José con motivo de la realización de diferentes obras de infraestructura, las cuales llevaron a la desconexión de los drenajes efímeros que tributaban desde la sierra Dorotea.

En esta instancia, al analizar el sistema de drenaje y su comportamiento (Tabla 4) se observa que los cursos de orden 1, que discurren paralelos a la estratificación, son los mayoritarios y a su vez poseen mayor longitud, disminuyendo el desarrollo en los órdenes siguientes hasta llegar a los colectores principales de orden 4, como lo son el arroyo Primavera y el río Turbio.

Asimismo, la relación de bifurcación (Rb) entre órdenes sucesivos no es constante, cuanto mayor es la razón de relieve, menor es la relación de bifurcación; el aumento en el valor de bifurcación se produce hacia el curso principal y en el sentido de la subcuenca alargada, por lo cual se espera ante una tormenta que los caudales picos sean moderados.

**Tabla 4: Características morfométricas de la subcuenca del Río Turbio**

Orden	Numero de cauces	Longitudes de los cauces (km)	Promedio longitudes de los cauces (km)	Relación de Bifurcación	Relación de Longitudes Medias (km)
1	105	349,19	3,32		
2	62	186,99	3,015	1,693	0,9
3	17	24,83	1,46	3,64	0,48
4	2	91,29	45,64	8,5	31,26
<b>TOTAL</b>	<b>186</b>	<b>652,3</b>		<b>x = 4,6</b>	<b>x = 10,88</b>

El cambio más notorio en la dinámica hídrica se produce entre los cursos de orden 3 y 4, en función de las singularidades geomorfológicas que posee la subcuenca y su relieve asociado (Véase Capítulo 4.3). Ello llevó a determinar que existen diferentes sistemas de drenajes, siendo los más representativos los de la subcuenca alta, con un diseño dendrítico. Por lo cual, este último fue tenido en cuenta al momento de caracterizar morfométricamente el sistema. De aquí que el valor promedio de Rb queda comprendido entre un rango de 3 y 5 (Strahler, 1964) para el área de cabecera con pendientes más pronunciadas que el resto de la subcuenca. Esto es reforzado por los valores en la relación de longitudes medias (RI) donde el incremento hacia los cursos de orden 4 muestra un cambio en el ambiente (Fig. 21).

La existencia de distintos valores en la RI se interpreta como indicio de dos etapas erosivas en una misma cuenca (Sala y Gay, 1981). A su vez, altas RI revelan una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones muestran mayor energía concentrada bruscamente.

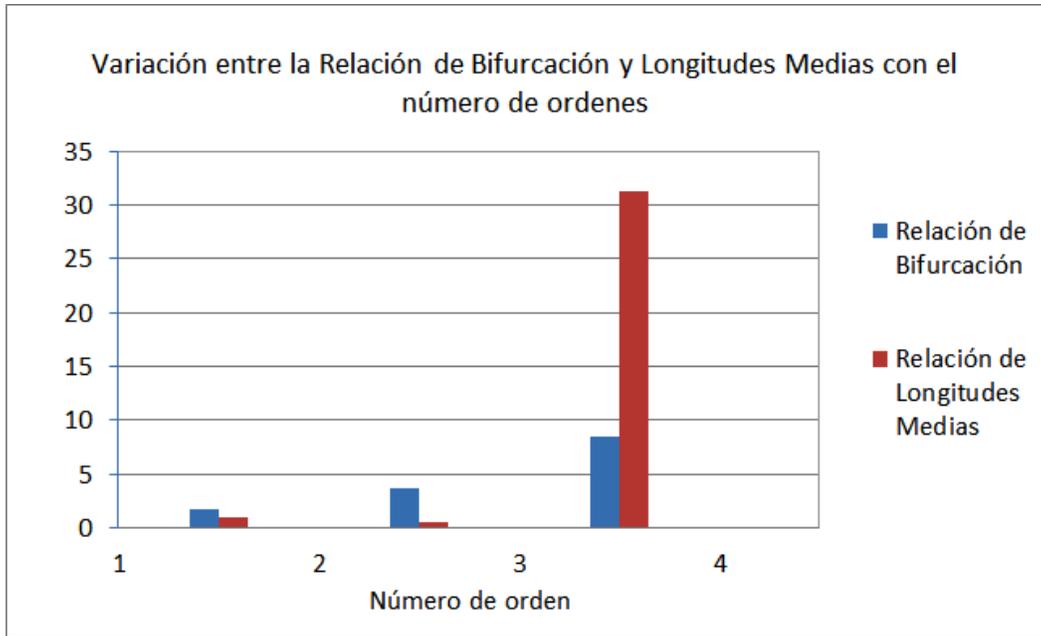


Figura 21: Relación entre bifurcación y longitudes medias para cada uno de los números de órdenes en la subcuenca

El ajuste de los tramos intermedio y bajo se vincula con la morfología glacial. El valle se amplía y la pendiente regional se suaviza (Fig. 20, Perfiles B – B' y C - C'). Los drenajes son en su totalidad transitorios, hecho que se estima relacionado con la juventud del terreno y la falta de un ajuste a la topografía más que a una disminución del gradiente pluviométrico. Esto se ve reflejado en la presencia de numerosos humedales y cuencas endorreicas de dimensiones variables.

Estas geoformas se hallan contenidas entre las escarpas de falla de traza rectilíneas con orientación O-E limitando el valle por ambas márgenes (Corbella *et al.*, 2015). Este sistema tectónico origina localmente el desarrollo de un diseño de drenajes distributarios, propio de un gran abanico aluvial, que desciende perpendicular a esta estructura desde la Meseta Latorre y culminan en proximidad del río. Esto promueve la erosión retrocedente de los cañadones que disectan la meseta, con gran removilización de material y la captura de otros cauces.

La dinámica glaciaria, a través de los sucesivos avances y retrocesos de los glaciares Pleistocenos dio origen, por un lado, a un sin número de cuerpos lagunares (Véase Capítulo 4.3.1). Es así que el río Turbio recibe los aportes próximos a su desembocadura de las lagunas Larga por el sur y Cóndor por el norte. En este último caso, el escurrimiento depende de los niveles de agua de la misma, tributando por rebalse.

Por otro lado, durante el englasamiento de la cuenca los sistemas de drenaje discurrían en sentido O-E aprovechando la tectónica preexistente como ya se indicara. Con el retiro de los hielos, el agua de fusión glacial modificó la morfología de los depósitos morénicos, generando nuevas geoformas de erosión y acumulación. Esto provocó cambios en la dirección y sentido del escurrimiento, ocasionando la movilización de material con el consecuente ahogamiento de la red de drenaje y la creación de un sistema de mallines sobreimpuestos sobre la margen norte hacia la desembocadura de la subcuenca (*Com. pers. Ercolano, 2015*). Estos mallines, desconectados de la red hídrica actual y sin gran significación en la regulación del escurrimiento superficial, adquieren importancia en el ámbito subterráneo como zona de recarga local.

Por todo lo antes expuesto, a partir del análisis de los índices obtenidos y en función de la configuración geomorfológica que se desarrolla en el área y condiciona el emplazamiento de una vasta e integrada red fluvial, es que se estima el tiempo de respuesta que posee la subcuenca a las crecidas. Ello resulta en un tiempo de concentración de aproximadamente 20 horas, en respuesta a las bajas pendientes por la que discurre el cauce principal, su longitud y la forma alargada que posee la subcuenca (Véase Capítulo 2.1.3).

## **6.2. Hidrología**

### **6.2.1. Descripción del escurrimiento superficial**

Para abordar de manera integral el estudio de la subcuenca, resulta necesario disponer de información sobre la variabilidad natural del recurso hídrico en diferentes sectores representativos del sistema.

El presente capítulo pretende avanzar en el conocimiento de los caudales para el arroyo Primavera y río Turbio, con lo cual constituye un marco de referencia para la comprensión cuantitativa y cualitativa de la subcuenca, a través del vínculo entre la estimación de la variabilidad espacial y temporal del recurso hídrico y los resultados de los análisis hidroquímicos para estas aguas, de los cuales esto último se desarrollará en el Capítulo 6.5.

En una primera aproximación, se intenta establecer los regímenes de dichos cursos superficiales y la disponibilidad del recurso, a partir de la distribución de caudales para diferentes épocas del año bajo estudio y aportar información global para entender el funcionamiento del sistema.

Como parte del conocimiento hidrológico, fue necesario determinar y diseñar secciones de control a lo largo de los álveos. Las estaciones de medición se sitúan en los puntos definidos para la caracterización fisicoquímica de las aguas (Véase Capítulos 2 y 6.3). Su selección se halla relacionada con las características morfológicas de la cuenca, la representatividad que ello implica dentro del sistema, el régimen permanente de los cursos superficiales y facilidades de acceso a los diferentes sitios.

Es limitada la información hidrológica antecedente generada y disponible para la subcuenca del Turbio, como así también inexistente las secciones hidrométricas que realicen el control sobre el sistema. Ello hace que los valores obtenidos en este estudio representen un acercamiento inicial al comportamiento hidrológico.

Aun así, un punto de comparación externo al análisis, y del cual se describe en este apartado, proviene de la sección correspondiente al río Turbio alto, aguas arriba de la CTRT a la altura del puente de la ruta Nacional N° 40, donde la estimación del recurso procede de información generada durante la construcción de la usina. Con ello se tiene registro acotado en el tiempo (Noviembre 2011 – Abril 2012). Es de destacar, que esta sección no cumple con las condiciones teóricas de aforo, sin embargo, su disposición responde al requerimiento emitido por la Subsecretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Santa Cruz, para garantizar el caudal utilizado en la generación de energía eléctrica.

Aguas abajo de la planta de energía se ubica la otra estación, actualmente fuera de servicios por inconvenientes técnicos. Aun así, con la primera sección en funcionamiento hoy día no se tiene acceso a esa información.

Existen obstáculos a la hora de aforar los cursos superficiales. El primero de ellos lo constituye la estación del año en que se realiza la medición. Con la época invernal los cursos de agua se congelan superficialmente, por lo cual no es posible obtener un valor real para la variable en cuestión, Figura 22. Otra de las interferencias se genera con la aparición de eventos extremos de precipitación, cuando el caudal que escurre excede la capacidad de medición del equipo utilizado y se pone en riesgo la integridad física de la persona que realiza el aforo, Figura 23.



Figura 22: Arroyo Primavera en época invernal, durante el congelamiento superficial del agua.



Figura 23: Río Turbio durante una crecida. Fotografía tomada desde el puente de la ruta Nacional N° 40, en la margen derecha se observa la CTRT. El círculo de color verde muestra las paredes del antiguo puente sobre el río.

Por todo esto, la lejanía a la zona de estudio (300 Km desde la ciudad de Río Gallegos) y las condiciones climáticas hacen que la frecuencia de las determinaciones se realice de manera interrumpida en el tiempo. Esto implica que los episodios extremos, de corta duración, no pudieron ser relevados en el momento, escapando por tanto al análisis.

### 6.2.2. Relevamiento hidrológico

El análisis hidrológico de la subcuenca del río Turbio se realiza a través de la aplicación de métodos de cálculo sencillos (Serman and Asociados S.A., 2011) y la consideración de criterios funcionales, asociados a la geología, geomorfología y representativos de cada tramo fluvial.

A partir del reconocimiento visual y las consideraciones teóricas de aforo ya citadas es que se distinguen tres puntos de análisis dentro del sistema, que se presentan en la tabla 5 y Fig. 3. De manera particular la diferenciación entre estas secciones proviene de su identidad morfológica dentro de la cuenca, la geometría de los cauces, litologías involucradas e incidencia de la actividad antrópica.

**Tabla 5: Ubicación de las secciones de control dentro de la Subcuenca del río Turbio.**

Sitio de Control	Ubicación	Coordenadas	Observaciones
Arroyo Primavera	Tramo medio	51° 32' 12,53"S 72° 15' 53,68"O	Aguas arriba de la confluencia con el arroyo San José
Río Turbio	Tramo superior	51° 32' 37,54"S 72° 14' 07,47"O	Sobre el puente de la ruta Nacional N° 40, aguas arriba de la CTRT
Río Turbio	Tramo medio	51° 36' 14,16"S 72° 12' 06,47"O	Aguas abajo de la CTRT y de la localidad de 28 de Noviembre

A continuación se presentan las consideraciones para cada tramo fluvial:

#### 6.2.2.1. Tramo de aforo arroyo Primavera

De carácter permanente, el arroyo Primavera se recuesta sobre el flanco este del homoclinal, y discurre N – S paralelo al eje del mismo, que se haya constituido por estratos rocosos correspondientes a la Formación Río Turbio. La escorrentía se ve favorecida en parte por los aportes de tributarios efímeros provenientes de la margen derecha. El cauce se caracteriza por presentar un mayor desarrollo de su ancho en relación a la profundidad ( $r$  ancho /  $r$  profundidad: 32) reflejo de la litología sobre la que discurre y lo condiciona, Figura 24. Este sitio de control cumple con las condiciones teóricas de aforo que justifican la ubicación de la misma. Así también,

ello se ve reflejado en el escenario natural, donde los límites de su área de influencia se hallan despojados de la intervención antrópica asociada a la minería. Esto se observa en la Figura 25, correspondiente a la geometría del cauce, lo que determina su comportamiento uniforme. Asimismo, el perfil de la sección de control representa la lectura del pelo de agua para el mes de Noviembre, época del año marcada por el deshielo de la nieve acumulada en la cuenca durante la estación invernal. Un análisis más pormenorizado de este aspecto es brindado en el siguiente apartado de este capítulo.

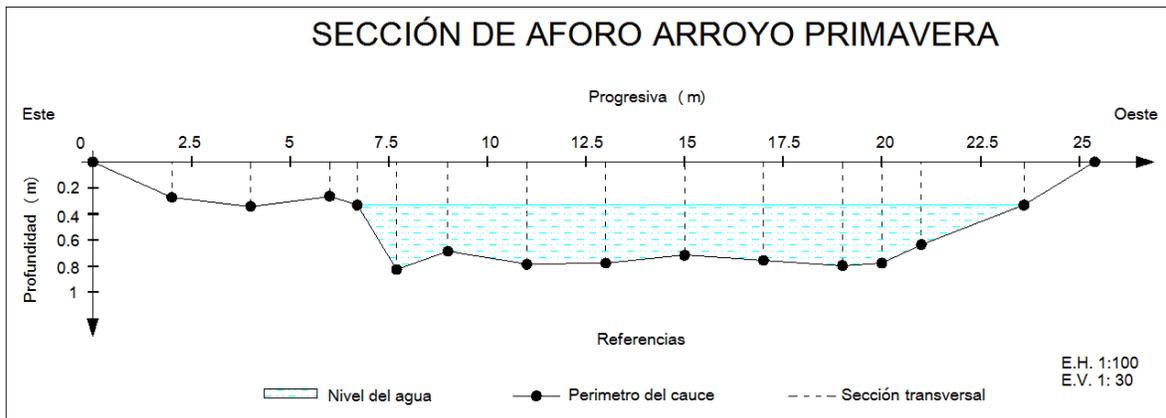


Figura 24: Perfil de la sección de control del arroyo Primavera.

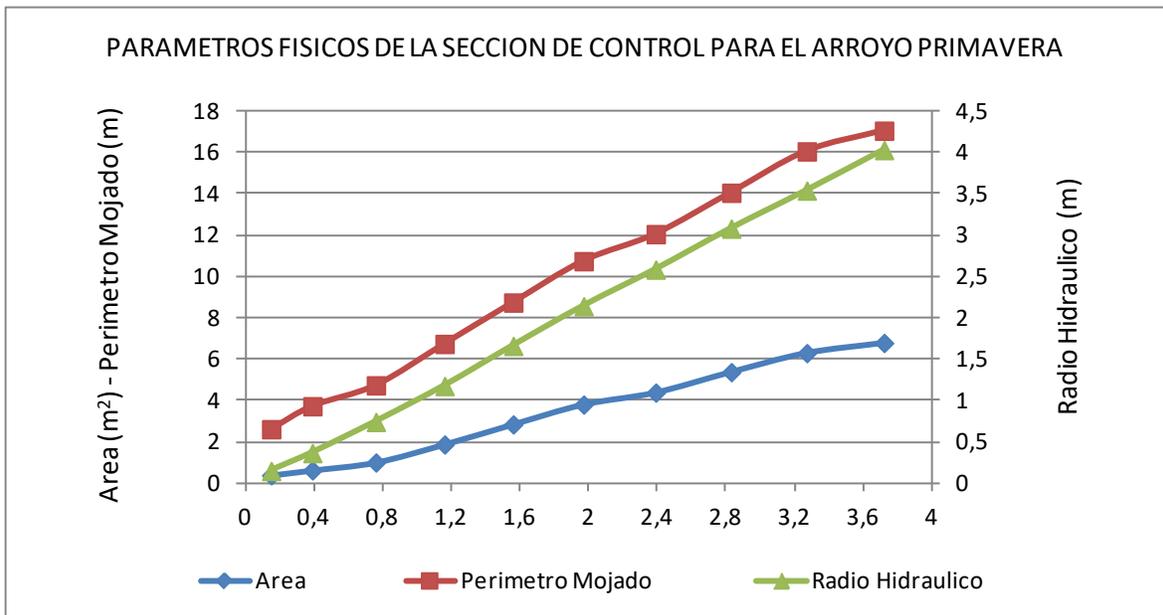


Figura 25: Características físicas de la sección de aforo para el arroyo Primavera.

### 6.2.2.2. Tramo de aforo río Turbio en su curso superior

Al pie del puente que forma parte de la ruta Nacional N° 40 y cruza el río Turbio, se sitúa la sección de control correspondiente. Su drenaje se halla representado por la confluencia de los arroyos Primavera y San José. Aguas arriba este río recibe presiones derivadas de la actividad minera y de la CTRT (Véase capítulo 6.4), con lo cual su cauce sufre importantes modificaciones que abarcan desde el aporte de sedimentos provenientes del desborde de las piletas de decantación, sobre el arroyo San José, hasta la rectificación de su curso en ambos márgenes.

Esto último queda manifestado con la incorporación de bloques de basaltos sobre su izquierda y la construcción de gaviones, para evitar el ingreso del agua a la usina durante épocas de crecidas, sobre su derecha, Figura 26.

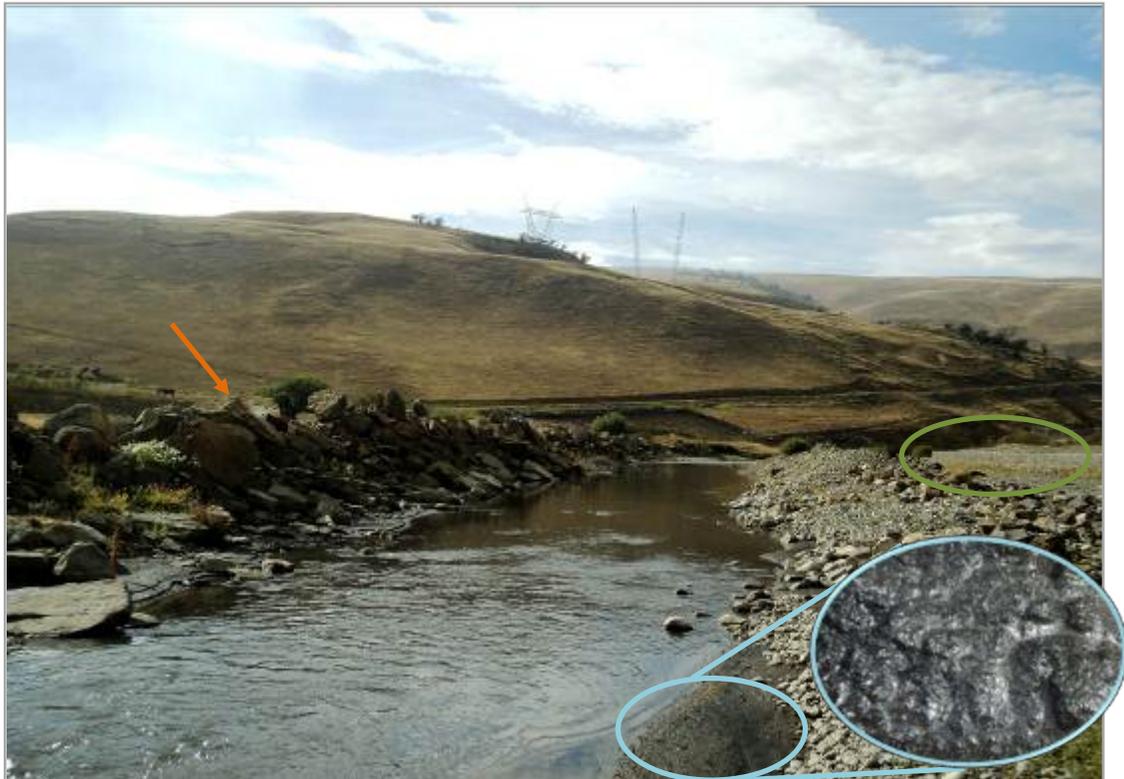


Figura 26: Curso superior del río Turbio visto desde el puente de la ruta Nacional N° 40. El círculo en color celeste indica la sedimentación sobre el cauce, proveniente de las piletas de decantación del arroyo San José, el círculo en color verde los gaviones sobre la margen derecha del cauce y la flecha naranja los basaltos sobre su margen izquierda.

Para esta sección (Fig. 27) el cauce muestra una relación ancho/profundidad de 1, evidenciando esto el grado de confinamiento que le ofrece el puente, por lo que el río tiene que mantener una alta tasa de erosión para conservar dicha relación. Asimismo, correspondiente con la campaña de aforo hecha por Serman y Asociados para el año 2009, el nivel del pelo de agua está representado para el mes de Noviembre.

Un punto a tener en cuenta, en función de lo antes mencionado, es la caracterización del sustrato, definida por la presencia de sedimentos de origen antrópico de granulometría psamítica de color negro (provenientes del carbón y la magnetita utilizada en el ciclo del procesamiento del mismo, véase Capítulo 5.1.4) en contraste con las otras dos secciones aforadas donde la litología dominante es de tipo psefítica.

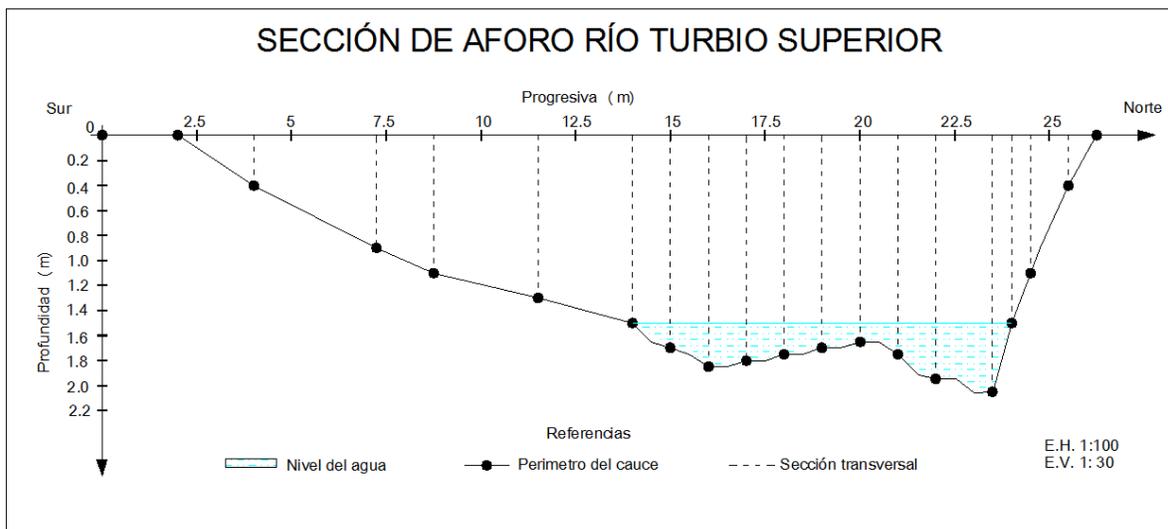


Figura 27: Perfil de la sección de control para el río turbio en su tramo superior sobre el puente de la ruta Nacional N° 40.

Como complemento, en la Figura 28 se resume las características físicas de esta sección, dando una aproximación de la magnitud de la intervención y las particularidades del cauce en comparación con los otros dos tramos.

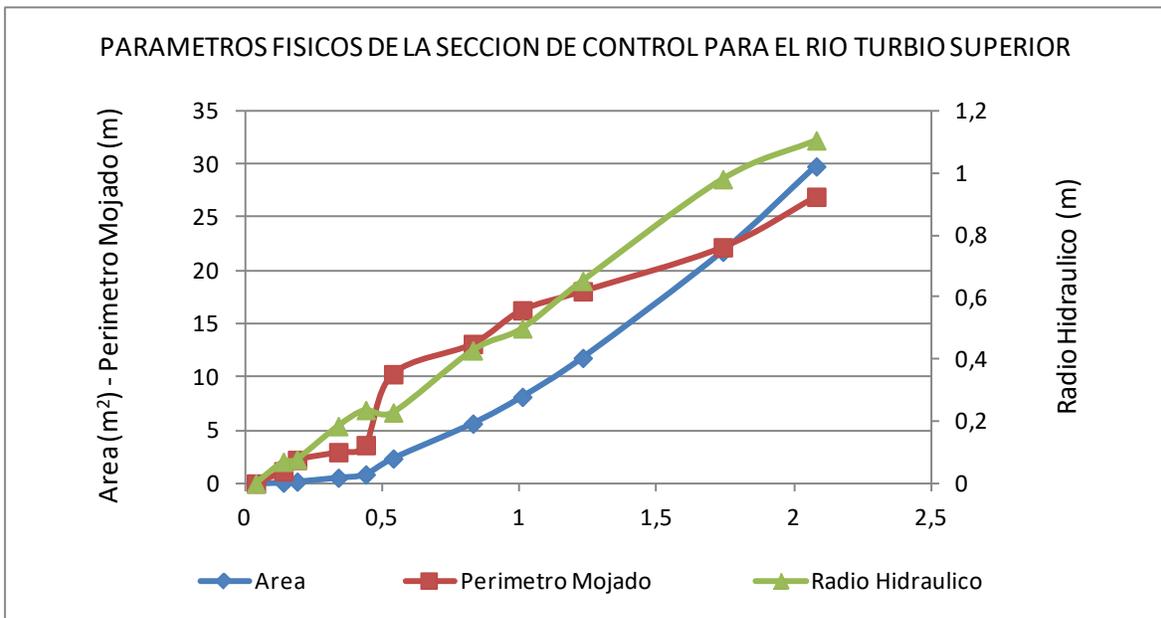


Figura 28: Características físicas de la sección de aforo. Extraído del estudio para la construcción de la CRTT, Serman y Asociados 2011.

### 6.2.2.3. Tramo de aforo río Turbio en su curso medio

Este tramo se define por estar alejado de toda manifestación antrópica. Aun así, es un punto de interés para determinar si existe o no influencias de las poblaciones de 28 de Noviembre y Turbio a estas latitudes. El río recupera su forma original y divaga por una amplia planicie labrada en sedimentos de origen glacial. Es así que discurre por un cauce poco profundo pero de desarrollo lateral, siendo su relación ancho - profundidad de 16. Asimismo, la altura del pelo de agua se halla representada para la época de precipitaciones en forma de nevadas, en el mes de mayo, Figura 29.

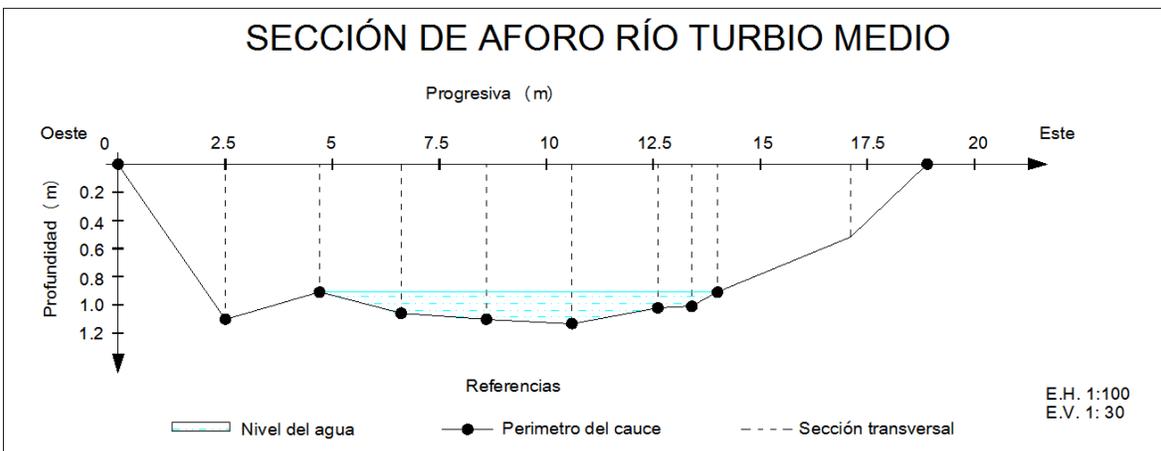


Figura 29: Perfil de la sección de control para el río Turbio en su tramo medio.

Lo antes expuesto refuerza la selección del sitio cumpliendo con los requisitos teóricos del aforo, la cual queda manifestada en los parámetros geométricos de la sección, representados en la Figura 30.

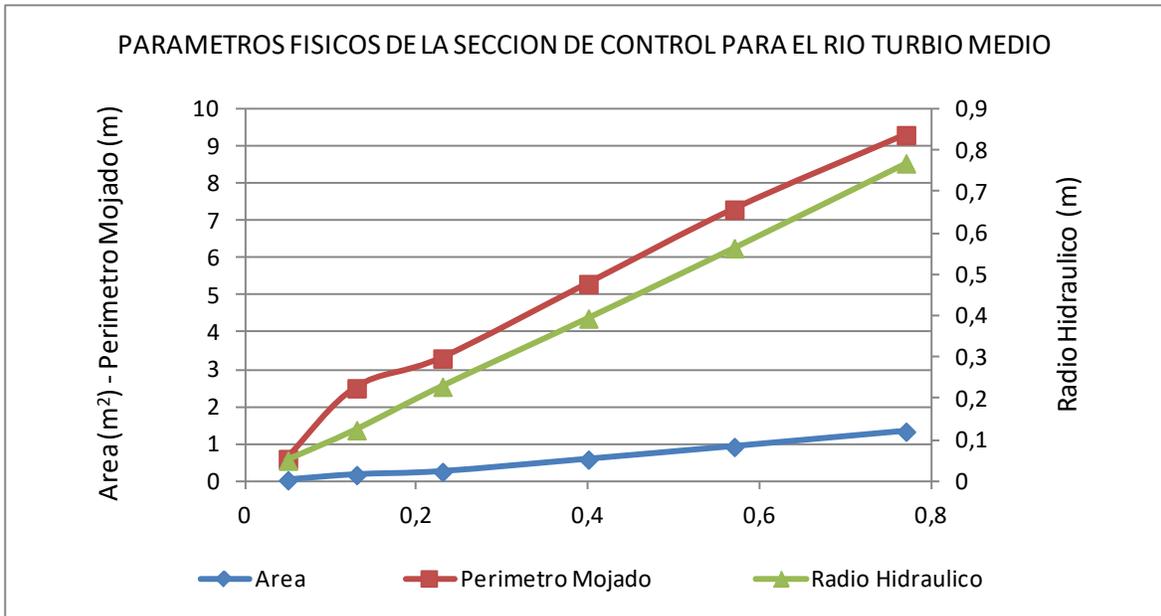


Figura 30: Características físicas de la sección de aforo.

### 6.2.3. Estimación de caudales

Los ríos son sistemas que reciben recurrentemente perturbaciones en forma de avenidas o sequías, más o menos regulares según el clima del que se trate (Sabater y Elozegi, 2009). La irregularidad interanual es una característica sustancial del régimen de caudales, por lo cual resulta imprescindible considerarla para una adecuada caracterización e interpretación ambiental del sistema (Martínez y Fernández Yuste, 2006).

El comportamiento de los caudales mensuales para el arroyo Primavera y río Turbio permite estimar el régimen hidrológico al que están sujetos. Ambos integran una subcuenca de régimen pluvio-nival, donde las fluctuaciones en parte devienen de los períodos de mayores lluvias y de los aportes durante la época de deshielo de la nieve acumulada en la misma, en coincidencia con la estación estival, de acuerdo a lo ya descrito en el apartado clima (Véase Capítulo 4.1).

Para el lapso analizado, la serie de caudales medidos comprende datos desde Noviembre de 2012 a Mayo de 2014. La variabilidad en los valores extremos se halla marcada por dos épocas bien definidas dentro de la subcuenca. Esto se constató mediante mediciones *in situ* cuando la

obtención del dato ha sido posible, como ya se detalló previamente, y de las observaciones directas realizadas en campo.

La primera de ellas está asociada al período de mayores precipitaciones, entre los meses de marzo a mayo, donde la respuesta de la subcuenca al aporte hídrico es inmediata (véase Capítulo 6.1.3). En este caso los valores de caudal máximo obtenidos para el mes de mayo de 2014 rondan los 3,87 m<sup>3</sup>/s para el arroyo Primavera y 2,38 m<sup>3</sup>/s para el río Turbio. Se hace evidente, como se puede observar en los datos obtenidos (Fig. 31), la pérdida de caudal desde el arroyo Primavera al río Turbio. Esta variación se halla relacionada con la salida del arroyo Primavera de un sector controlado estructural y litológicamente, con fuerte orientación N - S, hacia un amplio valle donde se une en sentido O - E con el arroyo San José. Ello hace, que parte del agua superficial circulante aporte al mallín del río Turbio y éste al subálveo. En la misma forma el arroyo San José, como tributario del río Turbio, colabora con la contribución de agua al mencionado subálveo. De manera complementaria, este cambio se hace visible en el campo durante la época de mayor caudal con la intervención antrópica efectuada al cauce y el desvío de agua hacia un canal para el lavado de áridos, a la altura de la confluencia de ambos arroyos.

En tanto la segunda época es la relacionada con las crecidas por deshielo, que ocurren entre los meses de septiembre a diciembre (Fig. 31), con caudales máximos entre noviembre y

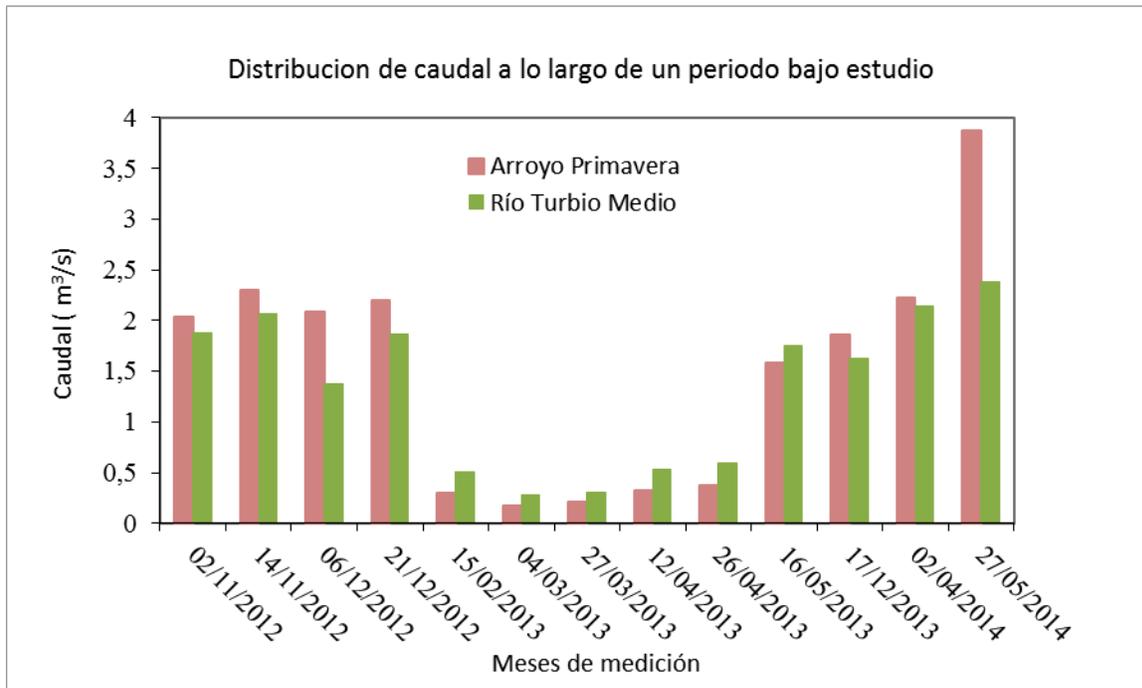


Figura 31: Variación de los caudales para el arroyo Primavera y el río Turbio.

diciembre (2,20 m<sup>3</sup>/s y 1,86 m<sup>3</sup>/s para el arroyo Primavera y río Turbio respectivamente). La incidencia del derretimiento de la nieve en la cuenca se manifiesta es un lapso más amplio de tiempo, con crecidas más controladas donde el aumento de caudal se da en forma paulatina.

Para el resto del período hidrológico los valores de agua que discurren se hallan comprendidos en el orden de 0,17 m<sup>3</sup>/s - 0,37 m<sup>3</sup>/s para el arroyo Primavera y 0,28 m<sup>3</sup>/s - 0,59 m<sup>3</sup>/s para el río Turbio. Se observa para la época de estiaje el comportamiento que era de esperarse desde el arroyo tributario Primavera al río Turbio. Asimismo, esta época puede verse influenciadas por eventos aislados extremos.

### **6.3. Hidroquímica**

#### **6.3.1. Marco hidrológico de referencia**

Como parte de la evolución en el conocimiento de la cuenca se llevó a cabo la interpretación de los análisis químicos adquiridos de trabajos vinculados a la actividad minera, relevantes en la caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la subcuenca del río Turbio.

Si bien la interpretación de los datos está condicionada por la diversidad de metodologías analíticas utilizadas, según los laboratorios y las diferencias en sus límites de detección, esta información es representativa, por cuanto los trabajos se han focalizado en el arroyo San José y en menor medida río Turbio, arroyos Santa Flavia y Primavera (Véase Capítulo 2).

Se utilizó la información hidrológica proveniente de muestreos antecedentes, como ya se mencionara en el apartado 2.1.1, efectuados durante los años 2000, 2006, 2008, 2010, 2011 y 2012.

Es de destacar que en el momento de producirse los diferentes relevamientos no siempre se encontraba en funcionamiento la planta de tratamiento de minerales de YCRT, factor que determina la variación de concentración sobre los parámetros medidos. Tal es el caso, que en el EIA realizado por el SEGEMAR (2006) se hace mención de esta situación. Asimismo hay que considerar la disminución en la producción de carbón para estos últimos años, de influencia directa sobre la calidad del agua.

La información hidroquímica procesada, permite reconstruir la historia cercana de la cuenca, desde el año 2000 en adelante, y establecer el estado en el que se halla actualmente. De este seguimiento resultan:

- *Datos de parámetros fisicoquímicos para el arroyo San José y Primavera.* Uno de los primeros analizados es la composición iónica de las aguas superficiales. Por medio de la caracterización fisicoquímica es posible estimar su calidad y determinar los posibles usos que puede tener el recurso hídrico.

- *Datos de contenidos metálicos para los arroyos Santa Flavia, San José y Primavera.* De la apreciación en el contenido de tal carácter para los diferentes muestreos, a lo largo de los años, surge la elección de los metales a evaluar. Los iones Zinc ( $Zn^{+2}$ ), Cobre ( $Cu^{+2}$ ), Hierro ( $Fe^{+2}$ ), Manganeseo ( $Mn^{+2}$ ), Plomo ( $Pb^{+2}$ ), Cromo ( $Cr^{+2}$ ) y Aluminio ( $Al^{+3}$ ) resultaron ser los únicos comunes a todos los trabajos compilados.

### 6.3.2. Diagnóstico hidroquímico del estado de la subcuenca

Seguidamente se evalúa cada uno de los cursos antes mencionados (Fig. 32). El arroyo San José de interés por el uso que le da la actividad minera, el arroyo Santa Flavia tributario del

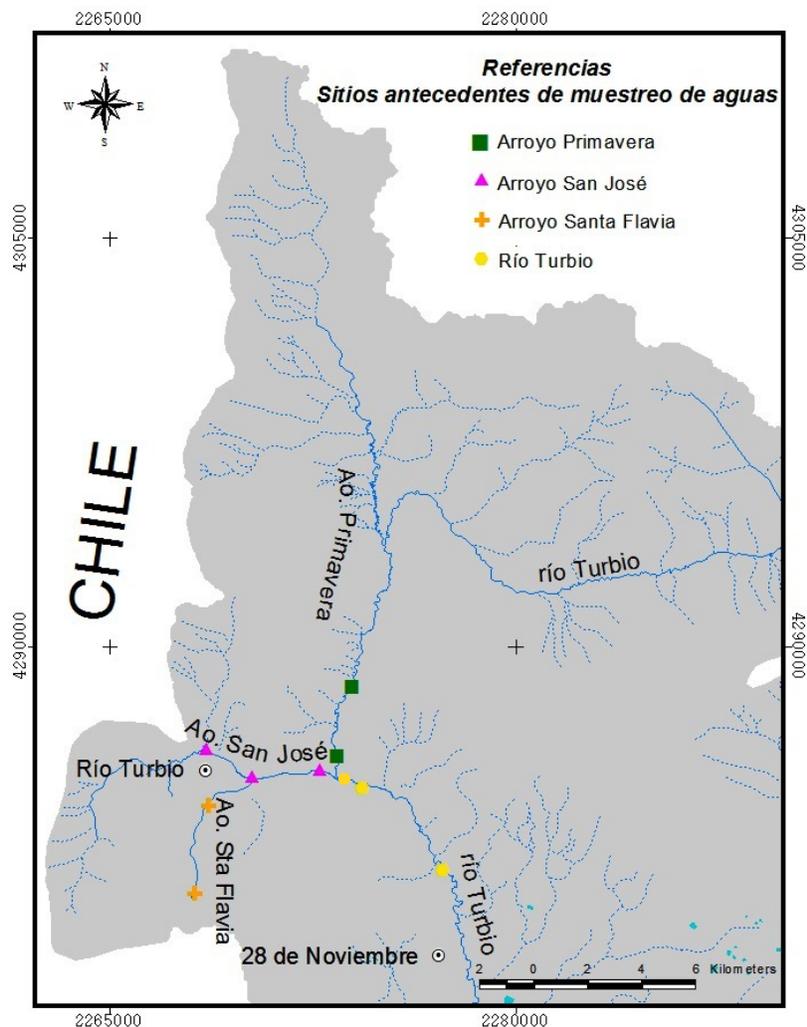


Figura 32: Distribución de los muestreos de agua superficial antecedentes para la subcuenca del Río Turbio

anterior, el Primavera, ambiente prístino sin conexión con la actividad que se desarrolla en la subcuenca y por último el río Turbio, curso que aguas abajo en confluencia con otros ríos darán origen al propio río Gallegos.

#### **6.3.2.1. Arroyo San José**

La mayor densidad de información hidroquímica proviene de este arroyo. El motivo es que discurre, desde la ciudad de Río Turbio hacia su desembocadura en el río homónimo, por la margen derecha donde se encuentra la planta de YCRT S.A. Sobre su margen izquierda, el agua tiene contacto con el material estéril proveniente de la actividad extractiva de carbón y que se deposita sobre su planicie de inundación.

El análisis del arroyo San José se realiza en tres tramos, en función de la coincidencia de lugares muestreados y cantidad de información antecedente (Anexo I). El tramo superior se ubica aguas abajo del rebalse del dique San José, el tramo medio representa la confluencia del arroyo San José con el arroyo Santa Flavia y su tramo inferior corresponde al paso del agua superficial por toda la zona de actividad minera antes de desembocar en el Turbio (Fig. 32).

Cabe mencionar que se cuenta con información fisicoquímica proveniente de aguas arriba del dique San José, pero no es suficiente como para caracterizar estadísticamente su contenido metálico.

En base a los datos disponibles se procede a la personalización de las aguas superficiales sobre la base de los métodos gráficos de Piper y de Schoeller-Berkaloff, mediante el empleo del programa *Easy\_Quim 4.0*.

Las aguas del arroyo San José evolucionan, en sentido del escurrimiento y a lo largo de 4,2 km, a partir de aguas bicarbonatadas cálcicas en el rebalse del dique San José, pasando a bicarbonatadas cálcicas-sódicas en la confluencia con el arroyo Santa Flavia y finalmente, antes de la desembocadura en el río Turbio, a aguas de tipo bicarbonatadas sulfatadas sódicas (Fig. 33).

En este último caso se exhibe una subordinación entre los iones bicarbonato y sulfato, presentando este último cierta predominancia ( $r_{HCO_3}/r_{SO_4}$  comprendido entre 0,41 - 4,19). Esta facies no se halla sujeta en si misma a una evolución natural, es más bien el reflejo de la actividad antrópica que sobre la cuenca se sucede. En conjunto con la progresión en el tipo de agua se visualiza el incremento de las concentraciones para los diferentes iones (Anexo I), como así también los valores de conductividad eléctrica.

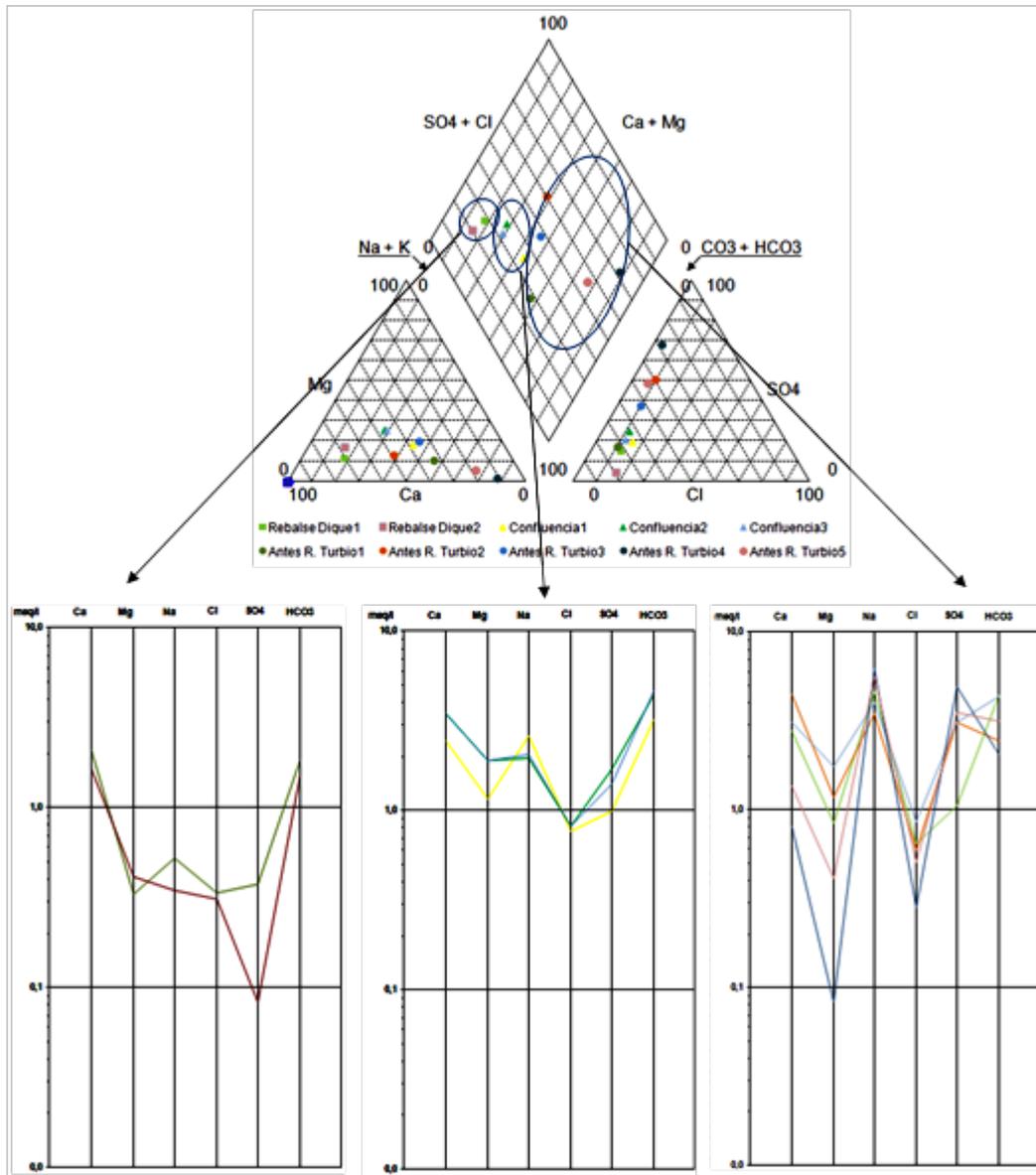


Figura 33: Evolución de las aguas del arroyo San José mediante los diagramas de Piper y Schoeller.

Asimismo, como parte de la caracterización y por disponerse de gran cantidad de datos antecedentes, se representa a la conductividad eléctrica como propiedad física indicadora de las condiciones en la que se encuentra el medio (Fig. 34), equivalente por su proporcionalidad al TSD (Total de Sólidos Disueltos).

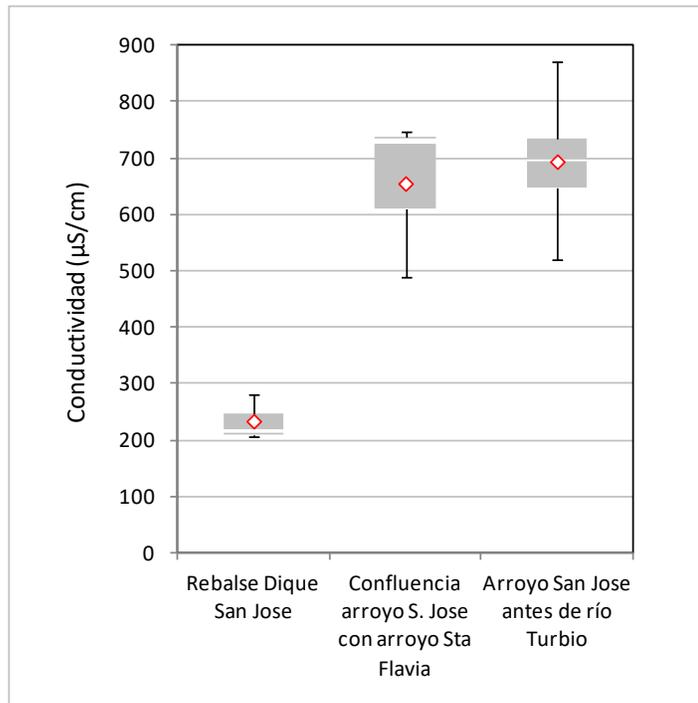


Figura 34: Variación de la conductividad eléctrica a lo largo del arroyo San José.

Se visualiza, a través del seguimiento en la evolución del arroyo, el incremento de los valores de conductividad eléctrica desde el tramo superior del arroyo hacia su desembocadura. Antes de la unión con el río Turbio se presentan los máximos valores promedios para la conductividad ( $694 \mu\text{S/cm}$ ), en coincidencia con su mediana y la distribución simétrica de los mismos, pudiendo llegar la dispersión de los datos hasta máximos de  $870 \mu\text{S/cm}$ .

A su vez, se identifica el notorio aumento, en 800 m de recorrido superficial, de los valores promedios desde el rebalse del dique ( $233 \mu\text{S/cm}$ ) hacia la confluencia con el arroyo Santa Flavia ( $655 \mu\text{S/cm}$ ). En este último caso la distribución de los datos se presenta asimétrica, la mediana y el 75% de los datos son similares y se hallan en el orden de  $730 \mu\text{S/cm}$ .

Acorde a las concentraciones encontradas se califica la calidad de agua y define su potencialidad de uso en base al CAA (Código Alimentario Argentino) y la Ley Nacional N° 24.585

(De la Protección Ambiental para la Actividad Minera) en cuanto al agua para consumo humano y protección de vida acuática en agua dulce superficial.

Los contenidos en los metales en el rebalse del dique San José muestran valores de  $Zn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  y  $Fe^{+2}$  por debajo de los máximos establecidos (Fig. 35). Las concentraciones atípicas para el  $Zn^{+2}$  y el  $Cu^{+2}$  (0,24 y 0,31 mg/l respectivamente) hacen que su promedio se aleje de una distribución simétrica de los datos, con valores por debajo de 0,08 mg/l para ambos casos. En tanto el  $Fe^{+2}$  se presenta simétrico, en coincidencia de su media y mediana (0,22 mg/l), con mayor dispersión de los datos, alcanzando máximos de aproximadamente 0,28 mg/l y contenidos mínimos de 0,18 mg/l.

Para este tramo del arroyo no se consideran las concentraciones de  $Mn^{+2}$ ,  $Cr^{+2}$  ni  $Pb^{+2}$  al encontrarse por debajo de los valores representados. Es de destacar, que aguas arriba del dique San José, las concentraciones de  $Al^{+3}$  y  $Fe^{+2}$  se hallan con valores elevados, superando los límites establecidos por la normativa.

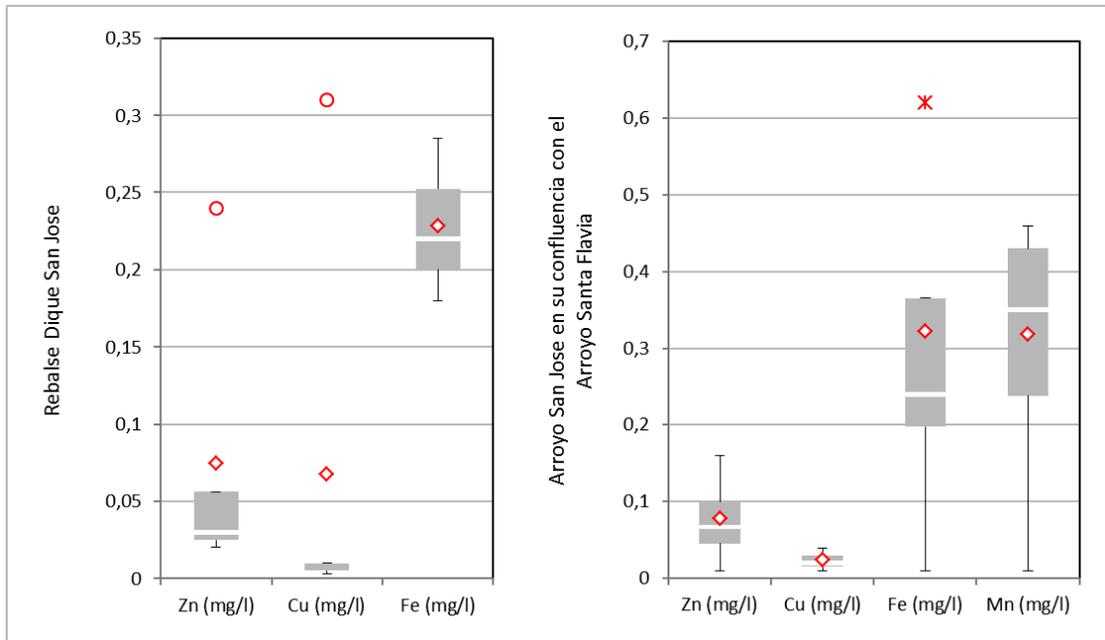


Figura 35: Distribución de los metales en el tramo superior y medio del arroyo San José.

En la confluencia con el arroyo Santa Flavia se observa el incremento en la concentración de los metales, duplicando los valores analizados previamente para la descarga del dique San José (Fig. 35). La excepción se presenta para el  $Cu^{+2}$ , sin modificaciones para este tramo del arroyo, siendo su concentración media igual a la mediana (0,02 mg/l). Asimismo, el  $Zn^{+2}$  muestra una distribución simétrica de sus valores, con un promedio de 0,07 mg/l, sin exceder lo establecido en

la normativa. Para el caso del  $\text{Fe}^{+2}$  los valores se presentan asimétricos positivos, el sesgo de información corresponde a 0,24 mg/l, valor de la mediana. El contenido promedio se halla en 0,32 mg/l y la mayor dispersión llega a concentraciones de 0,36 mg/l correspondiendo al 75% de los datos, a excepción de un valor atípico que se halla en el orden de 0,62 mg/l. El  $\text{Mn}^{+2}$  representa un caso similar, la elongación de la caja establece la gran dispersión de los datos con un promedio de 0,31 mg/l, valores mínimos de 0,11 mg/l y máximos de 0,46 mg/l.

Estos últimos dos metales se encuentran en concentraciones que superan los límites establecidos para agua potable, según el CAA. En el caso del  $\text{Al}^{+3}$  no se ha considerado en los diagramas debido a los pocos datos con lo que se cuenta, y la escasa validez estadística que esto supone, sin embargo sus contenidos se hallan por encima de los límites establecidos (Anexo I).

El comportamiento en las concentraciones de los metales previo a la desembocadura al río Turbio es indicativo de la actividad que sobre el arroyo San José se desarrolla (Fig. 36). La distribución en los contenidos de  $\text{Zn}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$  se halla por debajo de 0,30 mg/l, presentando valores atípicos de 1,31 y 1,52 mg/l respectivamente. Este último valor de  $\text{Cu}^{+2}$ , en comparación con el CAA y la Ley 24.585 (Protección de Vida Acuática), se presenta como valor anómalo según la calidad ambiental. A su vez otro metal en ofrecer concentraciones por encima de lo establecido en la normativa vigente es el  $\text{Pb}^{+2}$ , con un valor promedio de 0,20 mg/l, llegando la dispersión de sus valores a 0,76 mg/l, incluido su extremo.

El  $\text{Mn}^{+2}$  y el  $\text{Cr}^{+2}$  son dos casos particulares para este tramo del arroyo, ambos aumentan su concentración y presentan gran dispersión de sus valores. El  $\text{Mn}^{+2}$  duplica la concentración con un promedio de 1,29 mg/l, mediana de 0,8 mg/l y valor extremo de 3,82 mg/l. En tanto el  $\text{Cr}^{+2}$  presenta una distribución simétrica, coinciden su media y mediana (0,06 mg/l) y muestra valores mínimo de 0,003 mg/l y máximo de 0,13 mg/l.

El incremento en los tenores de  $\text{Al}^{+3}$  y  $\text{Fe}^{+2}$  se diferencia notoriamente del resto de los metales. El  $\text{Al}^{+3}$  presenta una distribución simétrica de los datos y baja dispersión en sus contenidos; su valor promedio es de 5,38 mg/l, con mínimos de 2,58 mg/l y máximos de 8,23 mg/l. El  $\text{Fe}^{+2}$  muestra gran dispersión, los valores se concentran en mínimos de 4,22 mg/l y máximos de 32,2 mg/l.

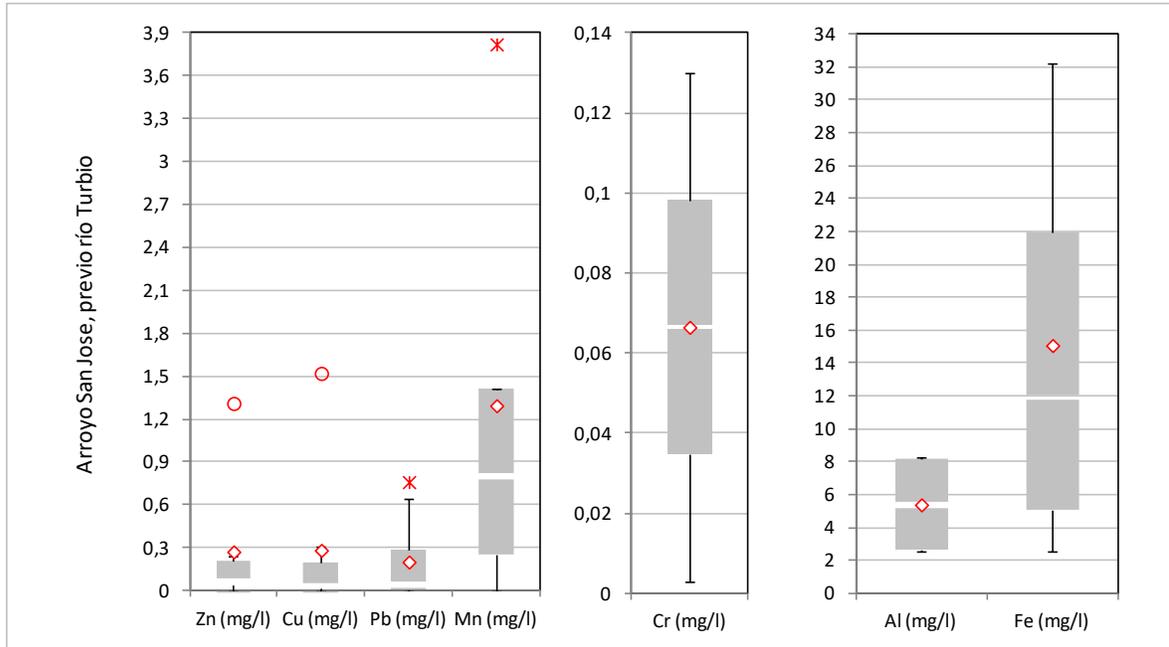


Figura 36: Distribución de los metales en el tramo inferior del arroyo San José.

### 6.3.2.2. Arroyo Santa Flavia

Es el principal tributario del arroyo San José. Nace en inmediaciones de la antigua explotación minera, Mina 1. En su corto recorrido circula: aguas arriba por el bosque de lenga, aguas abajo se encuentra sobre su margen izquierda la población de Río Turbio y sobre la derecha, próximo a la ciudad, la antigua explotación de carbón a cielo abierto.

Asociada a esta última, se ubica a orillas del arroyo la vieja escombrera. Actualmente en dicha margen, no existe forestación ni recomposición edáfica, el lugar se halla desprovisto de la cubierta de suelo y vegetación, expuesto a la degradación.

La distribución de los muestreos antecedentes llevados a cabo sobre este arroyo se limita al área comprendida entre sus nacientes y las inmediaciones de la ciudad, por lo cual todo el drenaje posterior que llega al arroyo San José no se halla representado (Fig. 37).

A su vez en este sitio y aguas abajo hasta su desembocadura, el arroyo recoge los desagües pluviales, efluentes urbanos y las aguas servidas, sin tratamiento, de la ciudad de Río Turbio. Esta situación determina un cambio en las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas de ambos arroyos. Cabe mencionar que este último parámetro produce otro impacto sobre la cuenca pero dicho análisis se aleja de los objetivos de este trabajo.

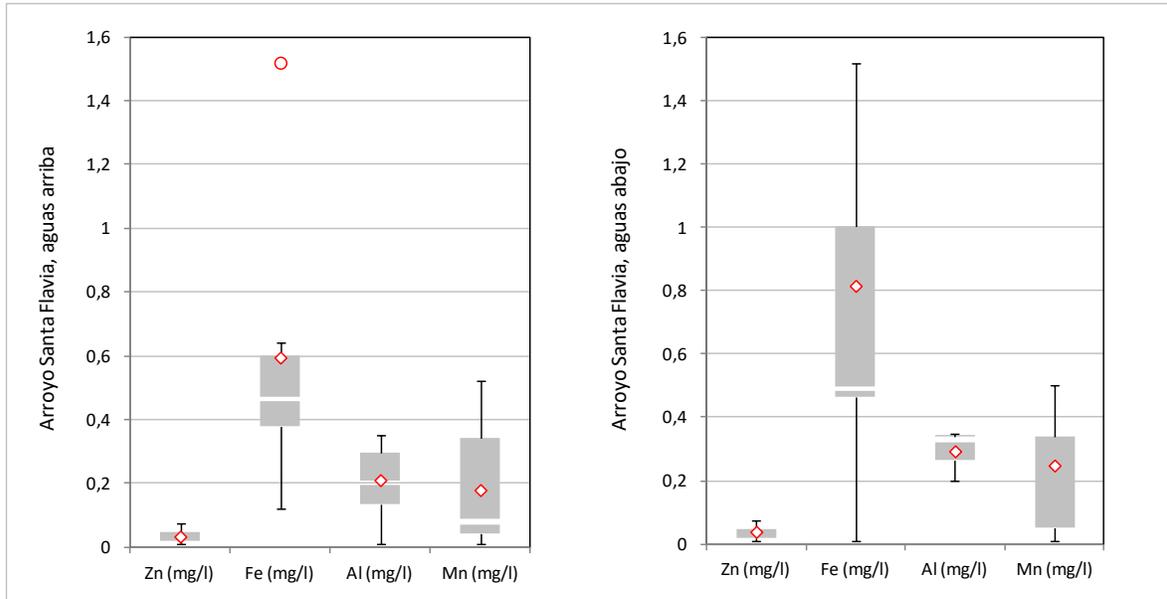


Figura 37: Distribución de los metales, aguas arriba y aguas abajo del arroyo Santa Flavia.

La caracterización del tipo de agua que presenta este curso no fue concretada debido al considerable error que exhibían las muestras, calculado según el software Easy\_Quim 4.0, el cual excede el 10%. Por lo tanto, la evaluación sobre él provendrá del análisis en los contenidos metálicos registrados aguas arriba y aguas abajo del mismo.

Se destaca para este arroyo la regularidad en las concentraciones de los diferentes metales. En ambos sitios los valores máximos se mantienen tanto para el  $Zn^{+2}$ ,  $Al^{+3}$  y  $Mn^{+2}$  (0,076 mg/l, 0,35 mg/l y 0,34 mg/l respectivamente). Se verifica aguas abajo una leve tendencia al incremento en los contenidos promedios de dichos metales (0,03 mg/l, 0,29 mg/l y 0,24 mg/l respectivamente). Particularmente, para el caso del  $Al^{+3}$  existe una mayor concentración de sus valores con mínimos de 0,2 mg/l y promedio de 0,29 mg/l. La diferencia la representa el  $Fe^{+2}$ , con gran dispersión de los datos aguas abajo y valor promedio de 0,81 mg/l, siendo la distribución de sus valores marcadamente asimétricos (coincide su mediana y el 25% de sus datos en 0,46 mg/l). A excepción

del  $Zn^{+2}$ , el resto de metales se hallan en concentraciones promedios que superan lo establecido en las normativas.

La concentración metálica presente se evidencia en el arroyo San José, con el incremento que se origina desde el tramo que circula por el rebalse del dique San José hacia la confluencia de ambos arroyos. A pesar del cambio sustancial que se produce, este curso logra ejercer cierta dilución sobre los contenidos que poseen las aguas provenientes del arroyo Santa Flavia (Fig. 35).

### **6.3.2.3. Arroyo Primavera**

Se encuentra aislado de la actividad minera que ocurre en la cuenca. Su importancia radica, por un lado, en ser uno de los afluentes que da origen al río Turbio, y por el otro en considerarse de referencia para establecer comparaciones con el resto de la cuenca, debido a las condiciones fisicoquímicas que presenta. Cabe mencionar que antes de su confluencia con el arroyo San José, este álveo se ve modificado por la actividad antrópica proveniente de la extracción de áridos que sobre su margen derecha se realiza, quedando esto evidenciado no sólo en la alteración de su red fluvial, sino también en los análisis químicos de agua (Anexo I).

Para caracterizar el tipo de agua, la información proviene del estudio realizado por PASMA (2001) y comprende dos muestreos, con bajo caudal y alto caudal. En el caso del análisis realizado para las muestras con bajo caudal estas superan el error aconsejable correspondiente al 10 %, por lo cual fueron descartados estos valores (Anexo I).

Aguas arriba de la extracción de áridos el ambiente se considera prístino, por cuanto las aguas mantienen su clasificación geoquímica como agua de tipo bicarbonatadas cálcicas a levemente sódicas, hacia cálcica magnésica en uno de los casos (Fig. 38).

Merece un tratamiento especial este arroyo al considerarse como punto de origen natural para el análisis de la cuenca. Se efectúa, al igual que en el resto de los arroyos analizados, el seguimiento de los metales presentes en el agua superficial (Fig. 39).

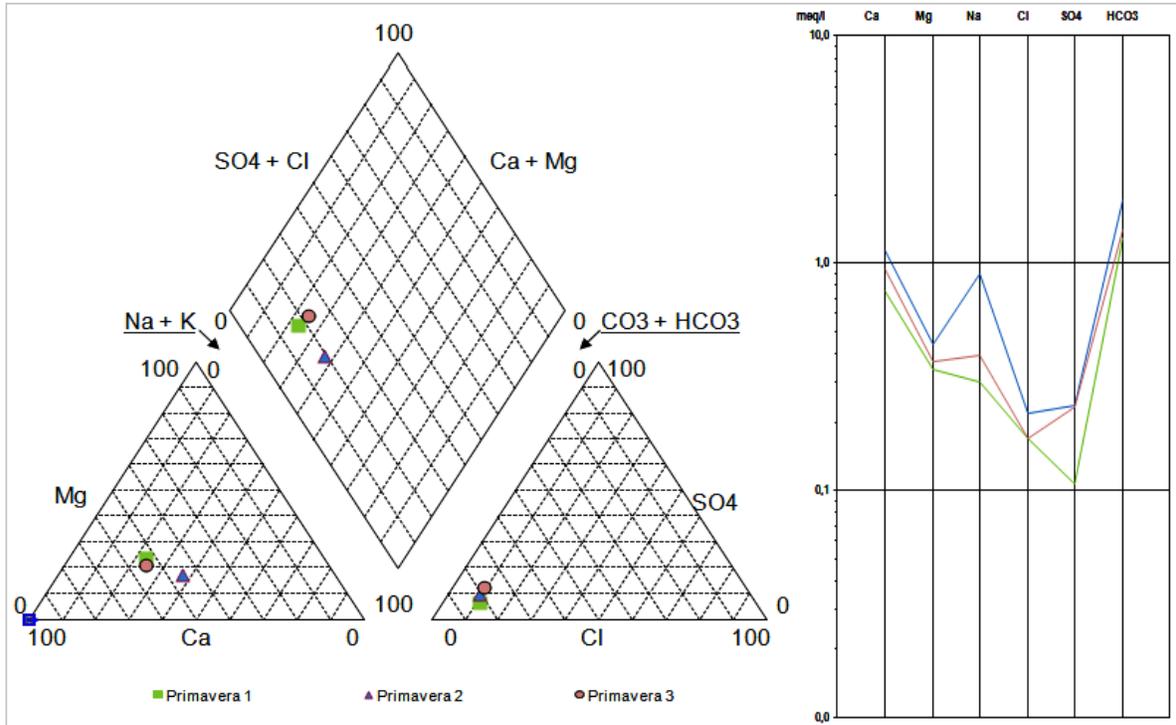


Figura 38: Evolución de las aguas del arroyo Primavera mediante los diagramas de Piper y Schoeller.

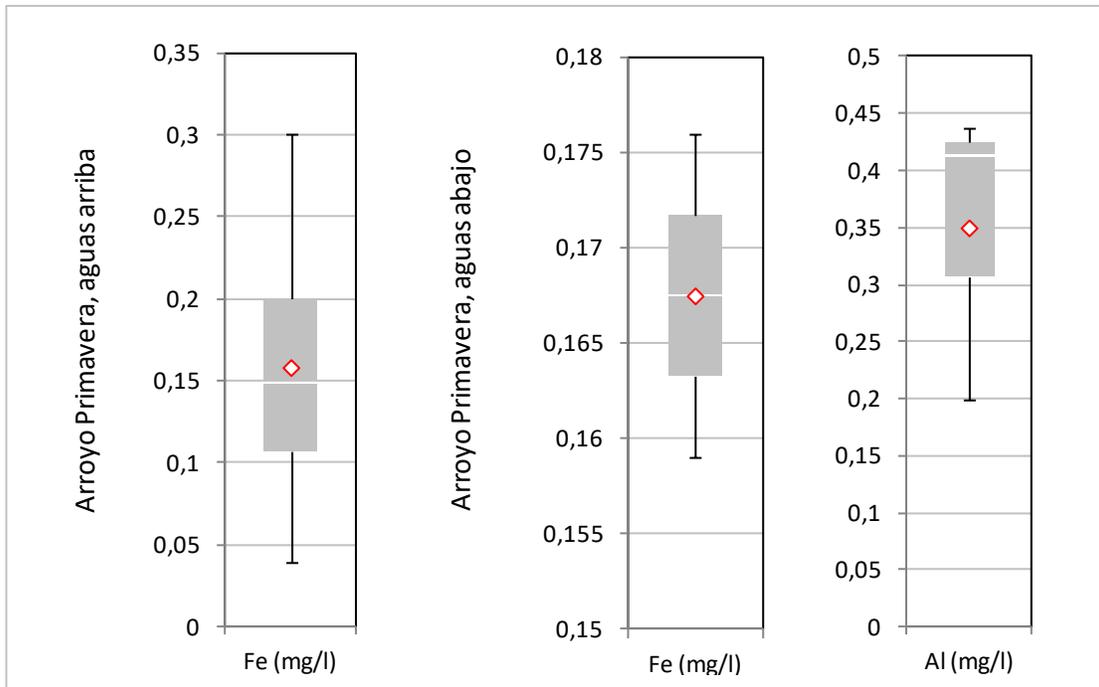


Figura 39: Distribución de los metales, aguas arriba y aguas abajo del arroyo Primavera.

Se destaca el contenido que existe como nivel basal de  $\text{Fe}^{+2}$ . El mismo en todo su recorrido se mantiene por debajo de 0,30 mg/l (límite máximo establecido por el CAA) con un valor promedio de 0,15 mg/l aguas arriba y 0,16 mg/l aguas abajo; en ambos lugares presenta una distribución simétrica de sus concentraciones. En tanto el  $\text{Al}^{+3}$  aparece en concentraciones considerables aguas abajo del arroyo Primavera, con valores que superan lo permitido (promedio de 0,35 mg/l, mediana de 0,41 mg/l correspondiendo una distribución asimétrica de sus valores y máximo de 0,43 mg/l).

#### **6.3.2.4. Río Turbio**

Este río recibe los aportes de agua que proceden de los arroyos Primavera y San José. La evaluación de los datos se realiza por sectores, en función de su cantidad. Por un lado se halla el sector inmediato de la confluencia de estos tributarios, otro sector se sitúa sobre la ruta Nacional N° 40 antes de la CTRT y el tercero aguas abajo de la CTRT (Fig. 40).

Parte de la caracterización química del río Turbio se concreta a la altura del puente sobre la ruta Nacional N° 40. Se cuenta con un solo dato para este lugar, siendo la clasificación geoquímica de tipo bicarbonatada cálcica magnésica (Anexo I).

De manera similar, aguas abajo de la CTRT prevalece en su comportamiento geoquímico la facie bicarbonatada con una leve subordinación a la sulfatada ( $r\text{HOC}_3/r\text{SO}_4 = 1,27 - 1,94$ ). En tanto en el contenido catiónico domina la facies cálcica sódica, con una evolución a cálcica magnésica (Fig. 40).

Cabe señalar que la información disponible es marcadamente menor que para el arroyo San José, por lo que se dificulta el análisis estadístico y el seguimiento de los metales hasta ahora considerados, como por ejemplo el  $\text{Fe}^{+2}$ . En cuanto al resto, excepto el  $\text{Al}^{+3}$  y  $\text{Mn}^{+2}$ , se hallan en concentraciones menores a lo estipulado en las normativas nacionales, tanto para consumo humano como para protección de vida acuática en agua dulce superficial (Anexo I). A su vez, aguas abajo del río Turbio a la altura de la ciudad de 28 de Noviembre, la información antecedente se distribuye a lo largo del río, sin coincidir en un lugar común, razón por la cual se optó por no considerarla en este análisis.

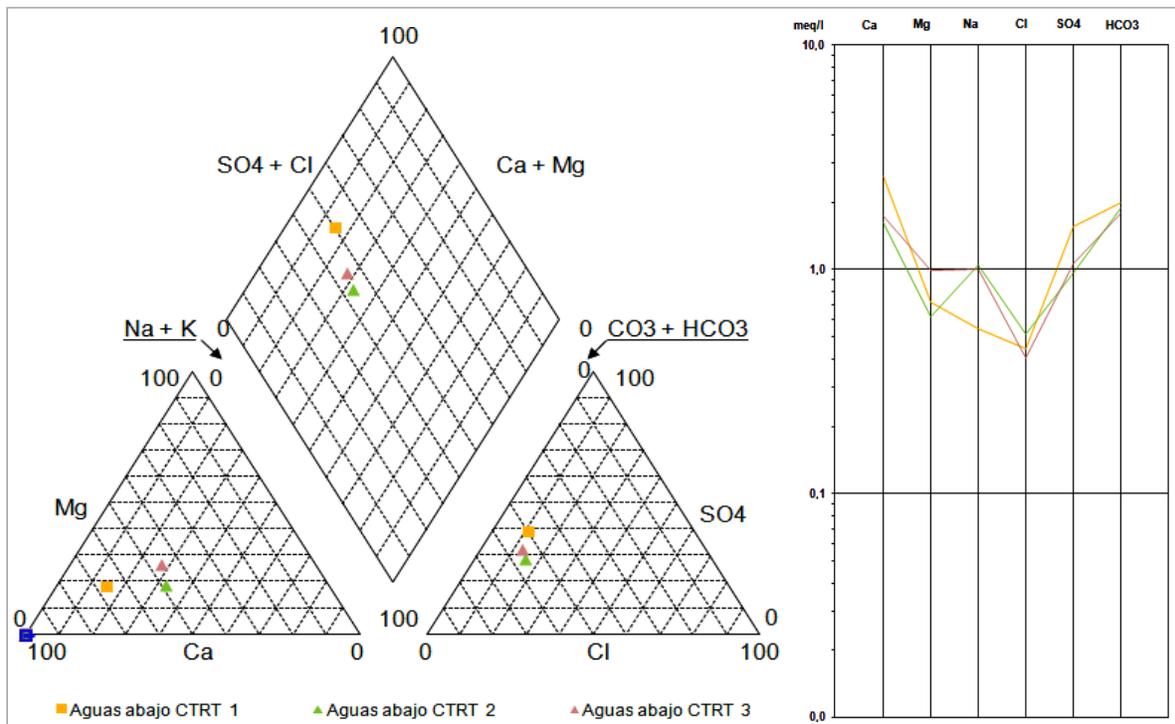


Figura 40: Evolución de las aguas del río Turbio aguas abajo de la CRTT.

La actividad que se realiza sobre el arroyo San José repercute en la calidad fisicoquímica del agua del río Turbio. Sobre la planicie de inundación del primero y próximas a la confluencia con el arroyo Primavera, se localizan las piletas de decantación donde es dispuesto el material que proviene del procesamiento del carbón (Fig. 41 y 42).



Figura 41: Imagen satelital de la planicie de inundación del arroyo San José. Se observa en el círculo azul el cambio en la coloración del agua superficial en la confluencia de ambos arroyos.

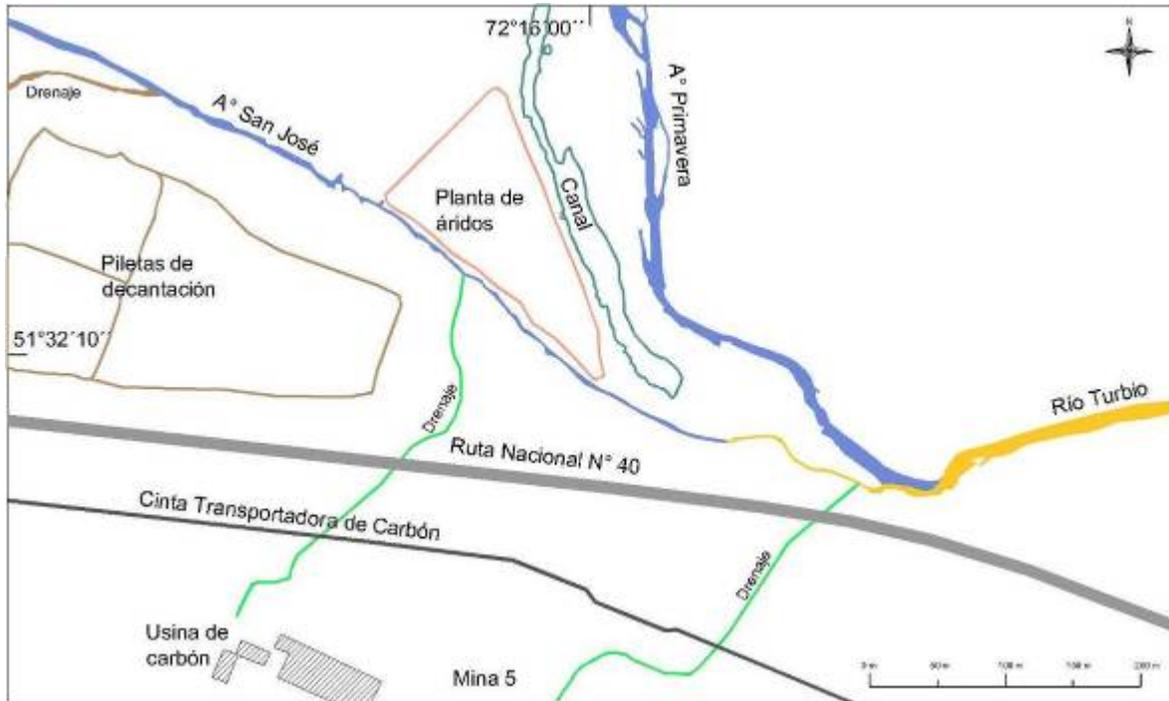


Figura 42: Croquis de ubicación de las piletas de decantación sobre la planicie de inundación, su drenaje hacia el arroyo San José y el cambio de coloración que se sucede hacia el río Turbio.

Asimismo, durante la construcción de la CTRT la empresa encargada realizó un plan de monitoreo de metales en el área de influencia de la obra. Se identificó el vertido al río del líquido generado en las instalaciones de la futura Central Termoeléctrica por el lavado de áridos, caracterizado por presentar importantes concentraciones de sólidos en suspensión (Véase Capítulo 6.4.2). Esta situación fue revertida con la construcción de piletas de decantación destinadas a regular este parámetro.

A lo largo de los sectores analizados en el río prevalecen los altos contenidos de  $Al^{+3}$  y  $Mn^{+2}$ . Inmediatamente en la confluencia de ambos arroyos los valores promedios se hallan en 2,13 mg/l y 0,18 mg/l respectivamente. Es notoria la dispersión a la que está sometida el  $Al^{+3}$  en los diferentes sectores evaluados, así como su distribución asimétrica. A la altura del puente sobre la ruta N° 40 la concentración promedio del río Turbio para el  $Al^{+3}$  es de 41 mg/l y su mediana de 8,5 mg/l, a su vez presenta un valor extremo de 157 mg/l. En tanto que aguas abajo de la CTRT el contenido promedio de  $Al^{+3}$  es de 4,93 mg/l y valor máximo de 60 mg/l. El  $Mn^{+2}$  para este sector presenta un valor promedio de 1,79 mg/l, mínimo de 0,13 mg/l y máximo de 3.09 mg/l (Fig. 43).

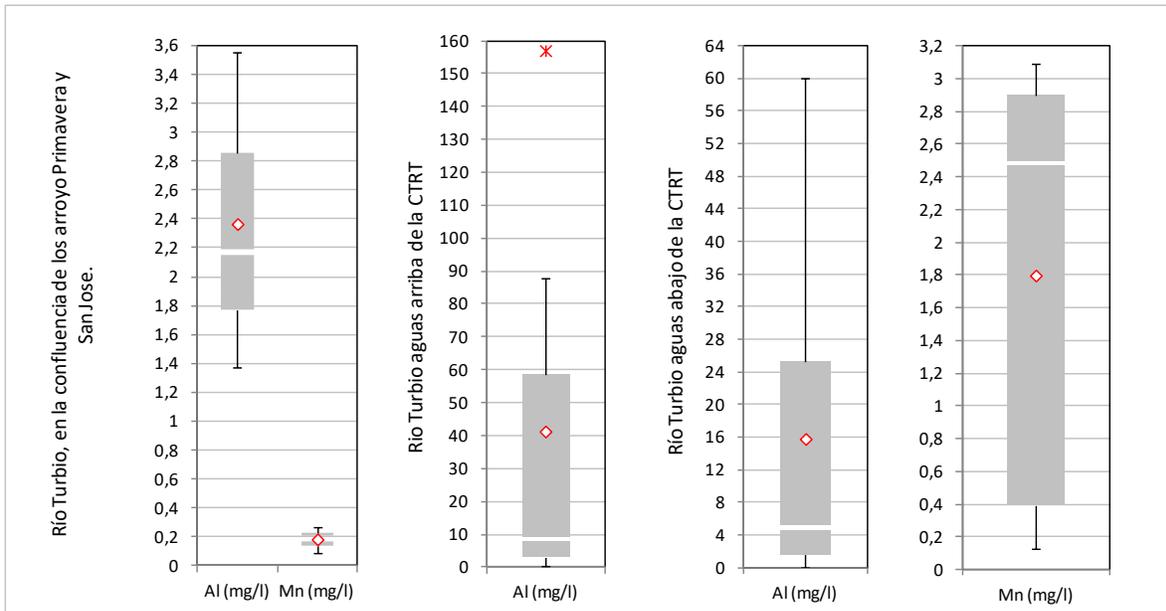


Figura 43: Distribución de los metales en el río Turbio

### 6.3.3. Composición química del agua superficial y su origen

El estudio de la composición química de las aguas superficiales aporta información sobre su origen y las posibles reacciones hidrogeoquímicas que podrían ocurrir durante el escurrimiento superficial.

En la información antecedente como en la generada en este trabajo se destaca la participación de iones que inciden notablemente en la química del agua. Es así que se repite una constante para los diferentes arroyos, tal es la presencia de determinados metales donde sus concentraciones tienen un impacto directo sobre la calidad ambiental.

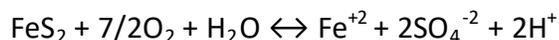
#### 6.3.3.1. Origen del ión Sulfato

Se detalla la procedencia del ion sulfato identificado en el agua superficial en el último tramo del arroyo San José y el río Turbio.

La presencia de este anión en el agua superficial podría deberse a que parte del material estéril, extraído del procesamiento del carbón, y depositado en las escombreras contiene piritita ( $\text{FeS}_2$ ). Este mineral, expuesto a nuevas condiciones de aireación y humedad, se oxida a ácido sulfúrico, el cual transportado por el escurrimiento superficial entre el material acopiado llega al cuerpo de agua.

En conjunto el Fe resulta también liberado al medio, por lo cual explica su presencia en las aguas superficiales. De manera similar, en cuanto a comportamiento, el  $Mn^{+2}$  va de la mano junto al  $Fe^{+2}$ .

Se representa la reacción que da origen al ion sulfato y al ión ferroso (Weiner, 2008):



#### **6.3.3.2. Procedencia de los iones Fe y Al**

Los procesos responsables de la composición química de las aguas superficiales tienen lugar principalmente durante el tránsito del agua.

Debido a que la precipitación del hidróxido ferroso es incompleta a  $pH=7$ , las aguas superficiales pueden transportar cantidades considerables de sales ferrosas.

El aporte de metales al agua superficial en la zona puede ocurrir por dos motivos. Por un lado, favorecida por la escorrentía superficial en el momento que el arroyo Primavera transita por la Formación Río Turbio, portadora de carbón. Por el otro lado, influenciada por la actividad extractiva del carbón, producto de la liberación de metales al momento de ser tratado el mineral.

#### **6.3.4. Información generada**

Se puede efectuar una diferenciación entre la información precedente disponible para el área bajo estudio y la generada en el marco de esta Tesis.

Como se ha podido observar en el análisis de la información histórica para el sitio de interés, los estudios realizados se han focalizado en aspectos puntuales de la composición química del agua superficial, como así también determinados sitios que aportan al conocimiento parcial del funcionamiento de la subcuenca del río Turbio.

Esta investigación pretende contribuir al conocimiento global de la unidad, centrándose en aspectos del comportamiento hidroquímico del sistema a lo largo del tiempo, como puede ser la estacionalidad asociada a las diferentes épocas de un año (Véase Capítulo 6.2.3).

Para ello se recurre a la caracterización fisicoquímica de la subcuenca del río Turbio a lo largo de un año de análisis (2013-2014) logrando incorporar información del régimen químico al que se encuentra asociada.

A través del muestreo de tres sectores de la cuenca, como es el arroyo Primavera, el río Turbio en el puente de la ruta N° 40 y este mismo en su tramo medio, más los antecedentes de los cursos Santa Flavia y San José se procura conocer la regularidad de la unidad fluvial (Fig. 3).

Para el estudio y tratamiento de los datos químicos se utiliza un conjunto de técnicas gráficas y numérico-estadísticas que permiten relacionar armónicamente contenidos de distintas variables.

### **6.3.5. Características de las aguas superficiales**

Para el estudio hidroquímico, las muestras de agua superficial fueron colectadas durante los meses de abril, agosto, diciembre del año 2013 y abril del año 2014 respectivamente. Se han distinguido las aguas en función del tipo de curso del que se tomó la muestra, por lo cual se diferencian:

- Aguas del arroyo Primavera, sin intervención antrópica a lo largo de su recorrido.
- Aguas del río Turbio, en su tramo superior, que recibe la descarga del arroyo San José conteniendo material proveniente del lixiviado de la escombrera, como así también el excedente de las piletas de decantación, afluentes de la misma usina de carbón, etc.
- Aguas del río Turbio, en el tramo medio de su recorrido aguas abajo de la localidad de 28 de Noviembre.

La composición química del conjunto estudiado varía entre bicarbonatadas cálcicas-magnésicas pasando a bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas-sódicas y sulfatadas-bicarbonatadas sódicas-cálcicas, dependiendo del lugar y del tipo de curso (Fig. 44).

El arroyo Primavera mantiene una composición entre bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcico-magnésicas (Fig. 45). La predominancia del anión  $\text{HCO}_3^{-1}$  radica en un 61,92 % así como su par el  $\text{Ca}^{+2}$  en 53,95 %, como catión principal. Asociado en alguna época del año a este ión se encuentra el  $\text{Mg}^{+2}$ , interviniendo en un rango entre 22,44 - 30,06 %. Es destacable la similitud de tenores de  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^{+2}$  en determinado momento, situación reflejada en la información anterior, con el incremento de este último catión (11,66 a 22,84%) subordinado al  $\text{Ca}^{+2}$ .

De manera semejante, los datos recopilados indican que para un mismo punto existe poca variabilidad en la composición química a lo largo del tiempo, escenario que se mantiene actualmente.

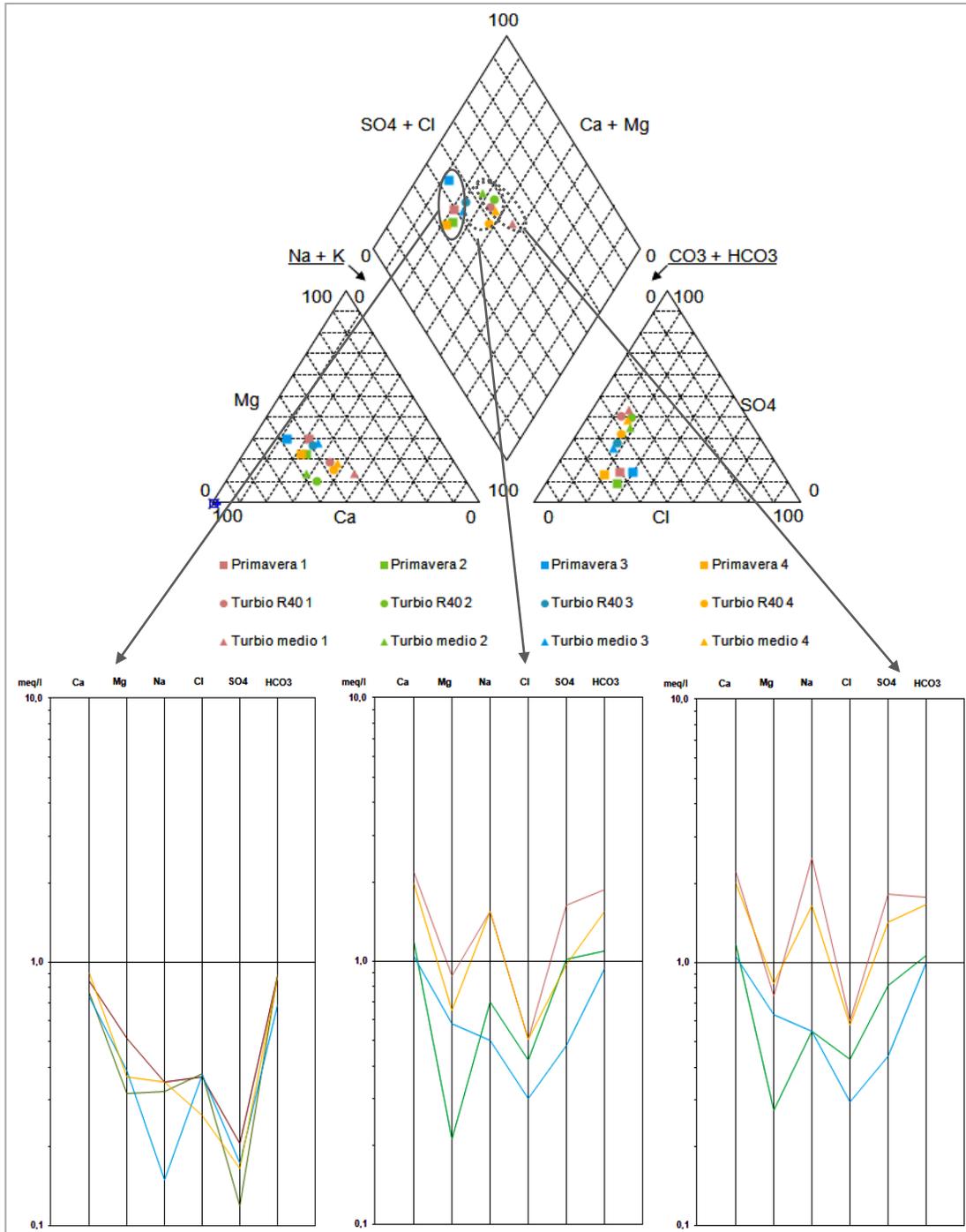


Figura 44: Evolución geoquímica del arroyo Primavera y el río Turbio a través del tiempo.

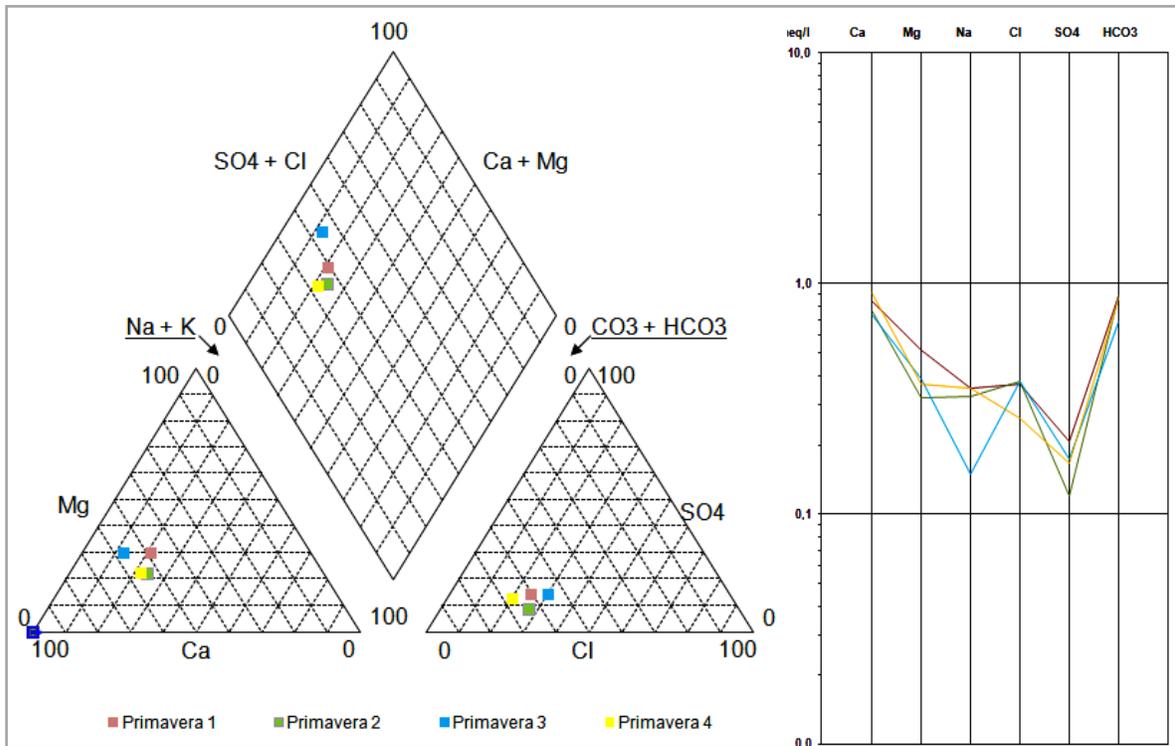


Figura 45: Evolución geoquímica del arroyo Primavera

Son aguas dulces, con conductividad eléctrica comprendida entre 110,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el mes de Diciembre, a 140,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en Agosto. A su vez se presentan ligeramente duras (54,4 a 68,2 mg en  $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{L}$ ). En tanto el pH de laboratorio varía en un rango de 7,2 y 8,2 en coincidencia con los meses antes mencionados.

El río Turbio en su tramo superior (Fig. 46) presenta facies que oscilan entre bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas-sódicas ( $r\text{HCO}_3/r\text{SO}_4 = 1,07$  a  $1,96$ ), pasando a bicarbonatadas cálcicas magnésicas y bicarbonatadas cálcico-sódicas ( $r\text{Ca}/r\text{Na} = 1,28$  a  $1,68$ ). Las aguas del arroyo San José poseen una composición, antes de la unión con el Primavera, de tipo bicarbonatadas sulfatadas sódicas como se ha mencionado en el análisis de la información previa (el contenido de  $\text{Na}^{+2}$  varía entre 37,85 - 86,79 %). Consecuentemente, su composición responde a las aguas que recibe en cada momento, según la temporalidad de la actividad minera en la cuenca.

Como ocurre en los trabajos previos, para este sector de la cuenca se observa el incremento en la conductividad eléctrica de 200,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el mes de Diciembre a 376  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para abril manteniendo sin embargo la característica de agua dulce. En el caso del pH queda comprendido

entre 6,9 - 8,37 según los meses antes mencionados respectivamente. La dureza del agua se manifiesta desde ligera a moderadamente dura (69,8 - 153,6 mg en  $\text{CO}_3\text{Ca/L}$ ).

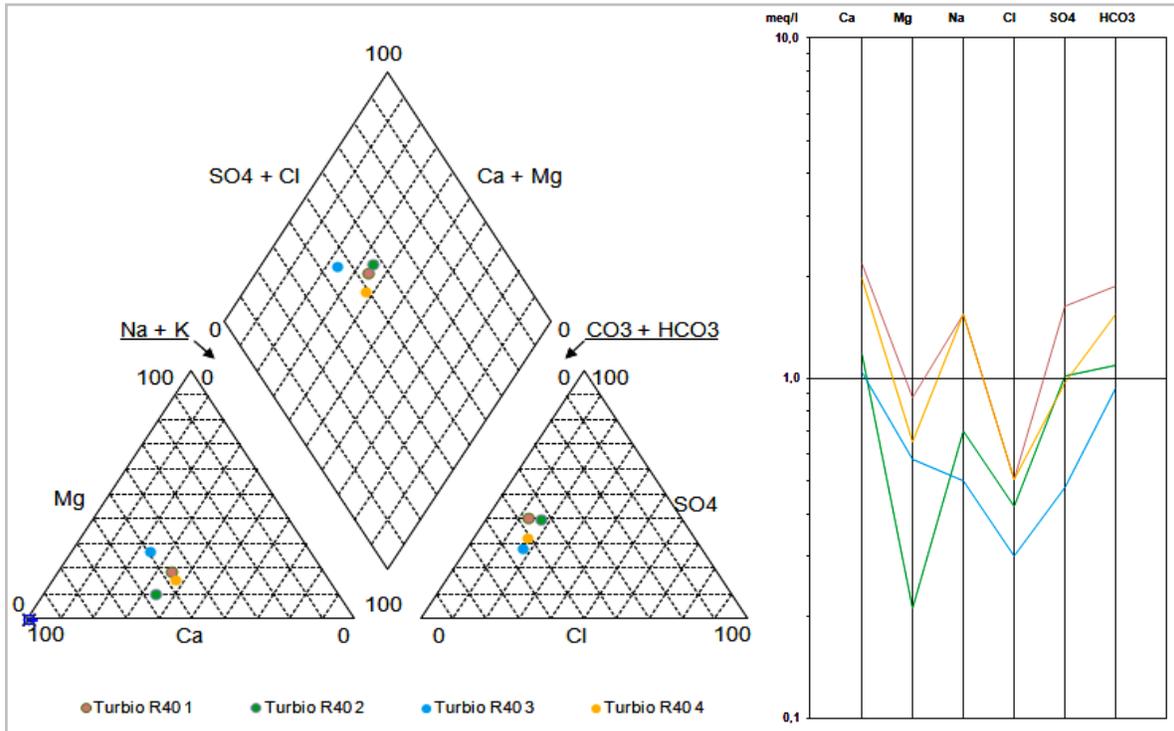


Figura 46: Evolución geoquímica del río Turbio en ruta Nacional N° 40

Aguas abajo, el río Turbio conserva las mismas características iniciales (Fig. 47). Su composición química sigue siendo bicarbonatadas-sulfatadas cálcico-sódicas a bicarbonatadas cálcico-sódicas aunque para esta instancia otra facie que prevalece es la sulfatada-bicarbonatada sódico-cálcica ( $r\text{HCO}_3/r\text{SO}_4 = 0,97 - 2,25$  y  $r\text{Ca}/r\text{Na} = 0,89$  a  $2,14$ ).

Son aguas dulces, por lo cual mantienen valores de conductividad eléctrica (198,7 y 440  $\mu\text{S/cm}$  para Diciembre y Abril respectivamente) y las característica de aguas ligeras a moderadamente duras (72,8 - 149,2 mg en  $\text{CO}_3\text{Ca/L}$ ). El pH oscila entre de 7,15 y 7,67.

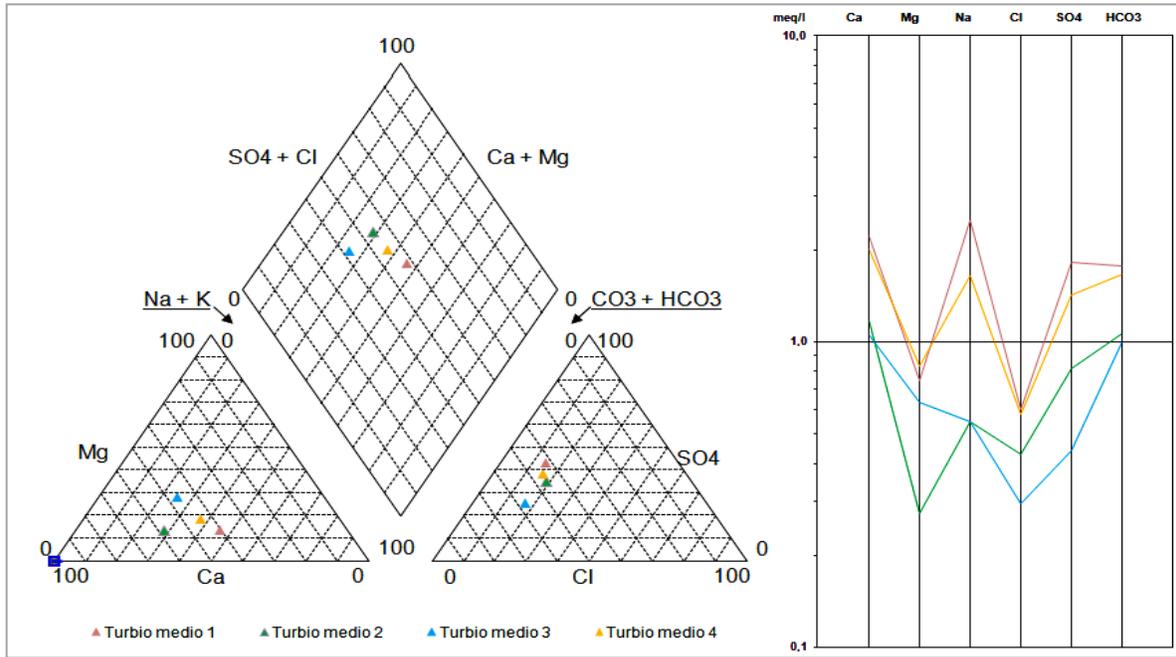


Figura 47: Evolución geoquímica del río Turbio en su tramo medio

Respecto a los iones  $\text{HCO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Na}^{+2}$ , en la Figura 48 a y b se puede apreciar la composición de las aguas del río Turbio, variable de un muestreo al otro, y entre los mismos tipos de agua que las muestras del arroyo San José -a la altura de la confluencia con el Santa Flavia y previo a la unión con el río- (Fig. 49 a y b).

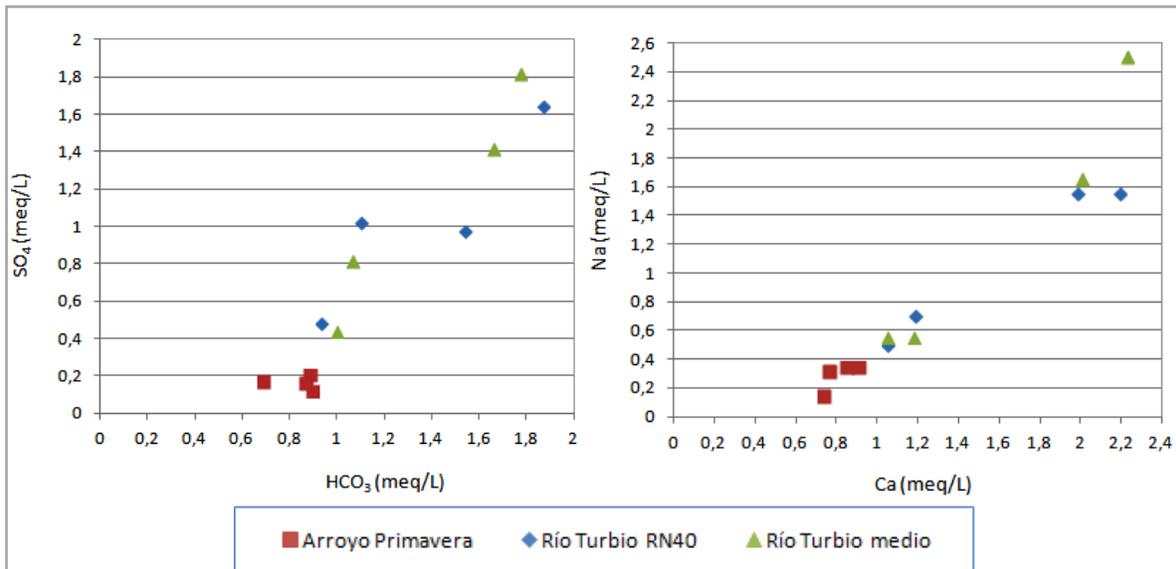


Figura 48: a) Relación  $\text{HCO}_3/\text{SO}_4$  y b) Relación  $\text{Ca}/\text{Na}$  para el arroyo Primavera y río Turbio.

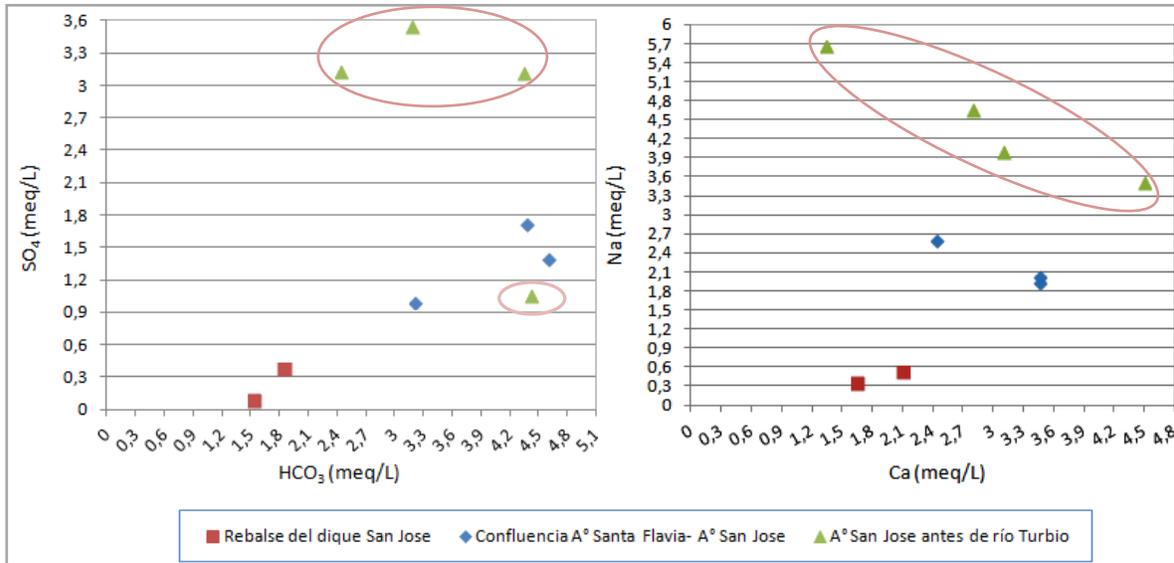


Figura 49: a) Relación HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub> y b) Relación Ca/Na para el arroyo San José. Para el último sitio de muestreo se observa en círculo coloreado el incremento significativo de los contenidos de SO<sub>4</sub> y Na para estas aguas.

Esta variabilidad es coherente con la actividad antrópica que se manifiesta en el arroyo y se prolonga hacia el río, con el incremento en los contenidos de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y Na<sup>+2</sup>. Por el contrario, el arroyo Primavera, alejado del sector minero, tiene una composición correspondiente al agua superficial, sin intervención minera, que es la que alimenta en parte al río Turbio y se puede comparar con las aguas provenientes del rebalse del dique San José.

#### 6.4. Estado ambiental actual de la subcuenca en el área de YCRT y CTRT

Como parte de las consideraciones para definir el estado ecohidrológico en que se halla la subcuenca, se identifican y analizan los conflictos de uso -actuales y potenciales- y el aprovechamiento de los recursos naturales, en un ecosistema que ha sufrido un sostenido proceso de deterioro a lo largo de 60 años de historia de YCRT y que afecta las nuevas oportunidades socioeconómicas que pueda ofrecer el recurso hídrico.

##### 6.4.1. Beneficios de la subcuenca y el aprovechamiento del recurso

La cuenca ofrece un real servicio ecosistémico que va desde espacios naturales que brindan hábitat para la vida silvestre hasta paisajes nativos, humedales, bosques y pesca, ampliando así la oferta recreativa con potencialidades para el desarrollo turístico y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

#### **6.4.1.1. Reservas naturales en la subcuenca**

La subcuenca del río Turbio cuenta con tres reservas naturales: Reserva Hidroecológica Dique San José, Reserva Natural Urbana Cerro de la Cruz y Reserva Provincial Punta Gruesa, constituyendo áreas protegidas que pertenecen a los municipios de Río Turbio, 28 de Noviembre y a la Provincia de Santa Cruz, respectivamente.

La Reserva Hidroecológica del Dique San José fue creada el 26 de mayo de 1993. Con una superficie de 150 ha se ubica sobre un valle de origen fluvioglaciario, el cual incluye ambientes típicos de estepa, mallines y bosque de transición. El cuerpo de agua se utiliza para realizar actividades durante los meses de verano e invierno como ser: embarcaciones sin motor (kayak o canotaje) y patinaje sobre hielo, además de poseer un sector de camping (Paz *et al.*, 2009).

Con una superficie de 2.295 ha al pie de la Meseta Latorre y en cercanías de la localidad de 28 de Noviembre se ubica la Reserva Provincial Punta Gruesa. Fue creada en el año 2002 con la intención de preservar su belleza escénica, sus riquezas en flora con los bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) y lenga (*Nothofagus pumilio*) y fauna autóctona para goce de las presentes y futuras generaciones (Peri *et al.*, 2013).

El 1 de Agosto de 2009 se crea la Reserva Natural Urbana Cerro de la Cruz. Está ubicada en el sector Oeste de la localidad de 28 de Noviembre y con una superficie de 13 ha protege un sector de bosque de ñire y lenga, además de contar con una gran variedad de aves y un sector de estepa gramínea y arbustiva (Decristóforo *et al.*, 2014). A su vez se encuentran presentes vertientes de agua (manantiales) que forman un pequeño humedal y ayudan a la biodiversidad local.

#### **6.4.1.2. Ofertas recreativas en la cuenca**

La oferta recreativa a lo largo del año, en especial para los meses más cálidos, va desde: circuitos turísticos tales como el Mirador de Cóndores, en las afueras de la localidad de 28 de Noviembre, el sendero denominado "Bosque de Duendes", en proximidad y atravesado por el arroyo Santa Flavia e iniciando en los alrededores de la antigua Mina 1, hasta el circuito de motocross - cuatriciclos, automovilismo sobre el valle del arroyo San José; actividades de pesca y fogones en el dique San José; eventos de doma, pesca y camping a lo largo del arroyo Primavera y Turbio. Como actividad propia de los meses de invierno el centro de esquí "Valdelén" resulta un atractivo turístico que reúne gran cantidad de aficionados.

### 6.4.2. Problemáticas ambientales derivadas de los conflictos de uso

De la evaluación de la problemática en la subcuenca surgen las acciones y factores que interfieren y modifican con el mantenimiento del servicio ecosistémico, asociados con el desarrollo socioeconómico de los diferentes actores dentro de ésta y el vínculo que existe con ella.

A continuación, en la Figura 50 se describen los diferentes cursos de agua e intervenciones antrópicas que afectan de una u otra medida el sistema natural.

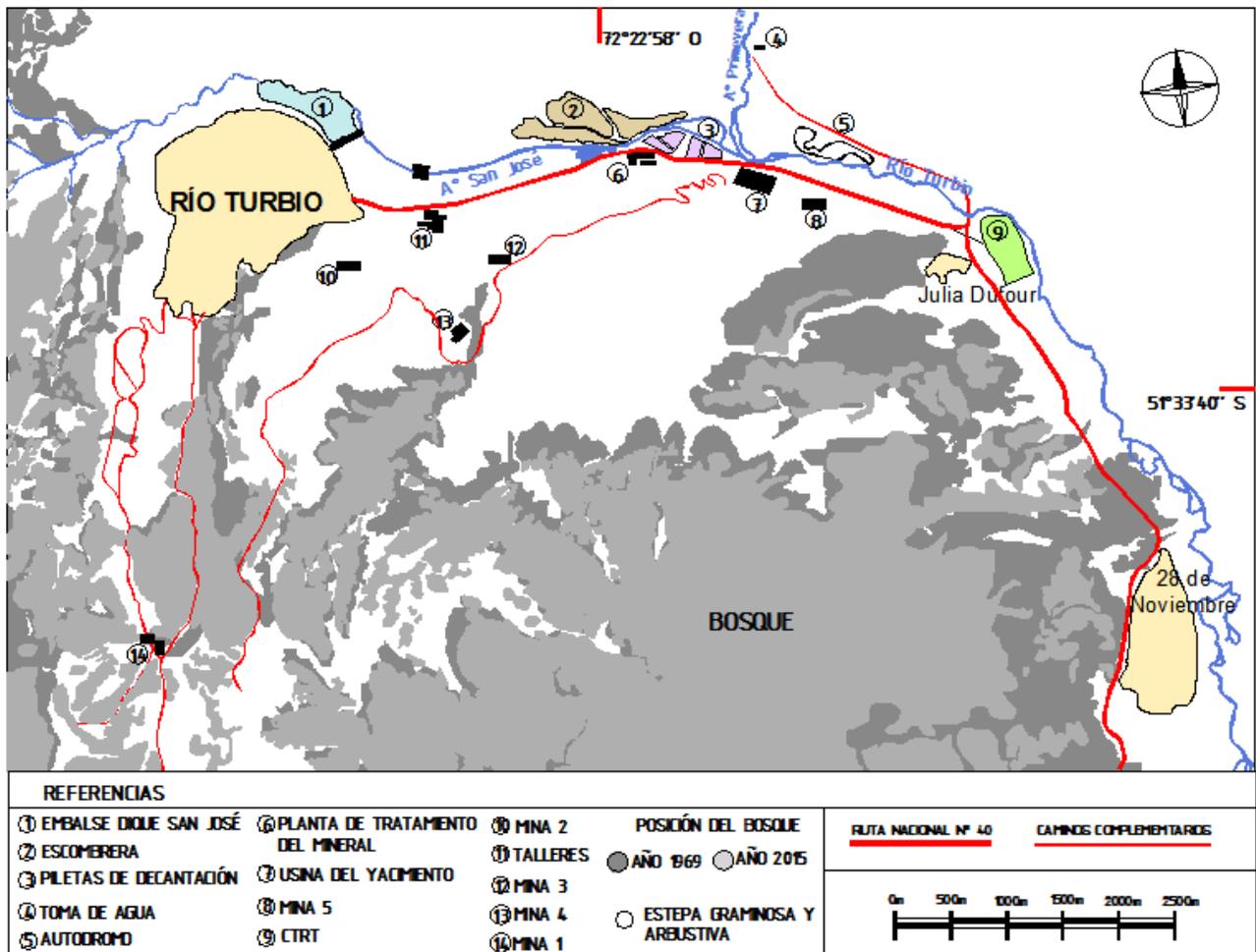


Figura 50: Enumeración de las diferentes intervenciones que ha sufrido la subcuenca a través de los años.

(Elaboración Propia).

#### **6.4.2.1. Dique sobre el arroyo San José (Punto 1, Fig. 50)**

En la década del '50, se efectuó la intervención al cauce natural del arroyo San José con la construcción de un dique conformado por carbón y estéril -con un desarrollo aproximado de 300 m de longitud-, modificando así la dinámica hidrológica superficial. El objetivo era abastecer de agua potable a la ciudad de Río Turbio y a YCRT (Ex YCF) debido al incremento poblacional de ese momento. Actualmente el aprovisionamiento del recurso se efectúa sobre el subálveo mediante pozos ubicados aguas arriba y abajo del dique. Por encima de él se emplaza la planta de tratamiento de agua potable para la ciudad (Fig. 51). Este último es, desde el año 1993, una Reserva Hidroecológica.



**Figura 51: Dique San José. Sobre la margen derecha del mismo se observa la planta de tratamiento de agua.**

#### **6.4.2.2. Escombrera sobre la margen izquierda del valle San José (Punto 2, Fig. 50)**

El material estéril de interior de mina y del procesamiento del mineral se dispone en el valle del arroyo San José, apoyado sobre la ladera de la meseta en lo que fuera un antiguo deslizamiento. Este material sometido a nuevas condiciones ambientales, se presenta inestable al ser una escombrera no consolidada, sin cohesión, deslizándose hacia el cauce e incorporando gran cantidad de sólidos en suspensión al agua superficial, por lo que altera su calidad fisicoquímica

(Fig. 52). En este contexto ha habido a lo largo de la historia de YCRT sucesivos deslizamientos asociados a cárcavas por efecto de la erosión hídrica. Esta situación se agudiza en épocas de deshielo con el aumento del caudal y erosión lateral que ejerce el arroyo sobre la pila de estéril. Hoy en día la escombrera posee un desarrollo de 100 m de altura y 2000 m de longitud, la cual continúa creciendo hacia el sector este.



Figura 52: Vista panorámica de la escombrera sobre el valle del arroyo San José y la cinta transportadora que aporta material a la misma. El círculo verde representa el sector de antiguos deslizamientos. El crecimiento de la escombrera se da hacia el este de la cuenca (derecha de la imagen).

#### **6.4.2.3. Relleno del valle del arroyo San José**

A lo largo del tiempo, las cenizas provenientes de la quema del carbón de la antigua usina que abastecía de energía eléctrica a la ciudad de Río Turbio y a YCRT fueron dispuestas a modo de relleno en el valle del arroyo San José como así también la disposición del rechazo del tratamiento del carbón. Esta acción trajo aparejada la reducción, compactación y alteración de la superficie del mallín desarrollado en la planicie de inundación, así como la modificación de la hidrodinámica superficial. En base a perforaciones realizadas por la UTN para el EIA se logró identificar, por debajo de un material estéril superficial, un relleno con una potencia de 8-10 m y una aproximación de la distribución sobre el terreno. En la actualidad se ubican por encima de ese relleno los talleres - zona de almacenamiento de materiales, usina - planta depuradora, piletas de decantación e instalaciones de mina 5 (Puntos 11, 6, 3 y 8 respectivamente, Fig. 50).

#### **6.4.2.4. Piletas de sedimentación sobre la planicie de inundación del arroyo San José (Punto 3, Fig. 50).**

Las tres piletas, sin impermeabilización, están deficientemente construidas con el estéril sin compactar que procede de la primera etapa del lavado del carbón y de las cenizas provenientes de la usina. A causa de su rotura y/o colmatación, por el incremento de caudal en época de deshielo, ha habido derrames del barro contenido (arcilla - limo - estéril y agua). Esta situación puede ser observada sobre la planicie de inundación hasta la desembocadura del arroyo San José en el río

Turbio (Fig. 53). Como consecuencia, se produce la modificación en las características químicas del agua superficial (Véase Capítulo 6.3), hecho que incide en la calidad del hábitat para diversas especies acuáticas.



Figura 53: Piletas de sedimentación en dos épocas diferentes. La figura de la izquierda representa un período de bajo caudal sobre el arroyo San José. La figura de la derecha en período de crecidas, se observa en el círculo de color verde la red de drenaje creada en torno a las piletas producto de su colmatación.

#### **6.4.2.5. Terraplén de las vías del ferrocarril de YCRT sobre el valle del arroyo San José y el río Turbio**

El ferrocarril fue construido con el fin de transportar el carbón desde el antiguo campamento hacia el muelle carbonero en la ciudad de Río Gallegos, como punto de salida para su comercialización. Hoy día el Puerto de Punta Loyola cumple con este rol. El terraplén, que atraviesa por la margen derecha el mallín del arroyo San José y el río Turbio, hace las veces de dique, sin permitir el normal escurrimiento del agua superficial, lo que ocasiona las inundaciones de las chacras vecinas en épocas de crecida (Fig. 54).



Figura 54: Terraplén de las vías del ferrocarril de YCRT sobre el valle del arroyo San José (<http://www.interpatagonia.com/>).

#### **6.4.2.6. Antigua explotación a cielo abierto sobre una margen del arroyo Santa Flavia**

En la margen derecha del arroyo Santa Flavia y al este de la ciudad de Río Turbio, se desarrolló una explotación de carbón a cielo abierto como parte de la concesión privada del yacimiento (ex YCF). Actualmente, esta actividad no tiene continuidad y el sitio se encuentra abandonado con una superficie intervenida de 500 m de longitud y 200 m de ancho sin presentar signos de recomposición edáfica. Bajo estas condiciones, el mismo es empleado como depósito de residuos sólidos urbanos, con el inconveniente de estar expuesto al lixiviado producto de las precipitaciones. La composición fisicoquímica del agua superficial se ve modificada con la incorporación de sólidos en suspensión y desechos al ambiente.

#### **6.4.2.7. Emplazamiento de la CTRT en el valle del río Turbio (Punto 9, Fig. 50)**

En la antigua planicie aluvial del río Turbio, situada sobre el mallín y en la margen derecha del curso, se construyó la CTRT. Se procedió al relleno del área, con áridos traídos de la localidad de 28 de Noviembre y de un cerro ubicado en Julia Dufour, lo que originó la pérdida de permeabilidad por compactación y reducción de su superficie. Asimismo, el cauce se encuentra contenido hoy con los gaviones construidos para reducir el efecto de las crecidas en época de deshielo (Fig. 55). Con la rectificación practicada al cauce, se incrementó la erosión lateral que realiza el río sobre la margen izquierda desencadenando una serie de procesos de remoción en masa.



Figura 55: Valle del río Turbio en dos períodos del año. La foto de la izquierda indica la época de crecida, durante el deshielo de la nieve acumulada en la cuenca. La foto de la derecha, el curso de agua confinado a su cauce natural (flecha color blanca). En flechas color rojo, gavión de contención.

#### 6.4.2.8. Generación de sólidos en suspensión en la etapa constructiva de la CRTT

Durante la etapa de construcción de la central, como producto del lavado de áridos, se generó gran cantidad de sólidos en suspensión en el aire y en el agua, que modificaron la calidad fisicoquímica del río Turbio. Esta acción se mitigó mediante la construcción de piletas de decantación previa descarga al río Turbio (Fig. 56). A pesar de ello, el volumen de áridos y agua empleados no permitió el suficiente tiempo de depositación del material fino, provocando dicha alteración.



Figura 56: Vista panorámica de la CRTT en construcción sobre el valle del río Turbio. La flecha señala la ubicación de la pileta de decantación. Aguas abajo se visualiza la localidad de 28 de Noviembre.

#### **6.4.2.9. Crecimiento de la ciudad y la necesidad de nuevas obras de infraestructuras**

Con la creación de la CTRT y reactivación de YCRT, se ha suscitado un incremento demográfico en las localidades de Río Turbio y 28 de Noviembre. En el caso de Río Turbio, el aumento de la densidad poblacional se halla acompañado de la expansión de la ciudad hacia los sectores de pendiente, generando la pérdida de hábitat y especies de flora característica de la región (Fig. 57), tal es el caso de los bosques de ñire y lenga. Otro efecto resultante es la desestabilización de taludes con los consecuentes procesos de remoción en masa (Véase Capítulo 4.3.3). En tanto, para la localidad de 28 de Noviembre la expansión no sólo se realiza hacia los sectores de pendiente sino también hacia la planicie de inundación del río, donde tiene continuidad el mallín anteriormente mencionado.

Asimismo este crecimiento ocasiona el aumento en la generación de residuos sólidos urbanos y efluentes cloacales sin tratamiento, lo que requiere a corto plazo contar con obras de infraestructura y servicios.



Figura 57: Vista hacia el sureste de la ciudad de Río Turbio emplazada en un sector de pendiente. Sobre la izquierda de la imagen, el espejo de agua corresponde al dique San José.

#### **6.4.2.10. Incendios forestales y deforestación de los bosques de ñire y lenga**

Con la creación de la villa de Río Turbio en la década del 40, una de las primeras necesidades a ser cubiertas dado el clima imperante en la zona, fue la calefacción domiciliar. La madera también se utilizó en la mina como parte del sostenimiento de las galerías subterráneas. Grandes extensiones de bosques de lenga y ñire han sido degradadas, tanto por la deforestación como por incendios (naturales e intencionales), correspondiendo con una pérdida aproximada desde el año 1969 al 2015 del 9 % de la superficie del bosque, para el caso de la Sierra Dorotea (Fig. 50). La ausencia de cobertura en los lugares de mayor pendiente acelera los procesos erosivos eólicos, fluviales, así como los movimientos de remoción en masa que se manifiestan en la merma de la capa edáfica, la ausencia completa de vegetación y la incorporación de sólidos en suspensión a los cursos de agua superficial.

#### **6.4.2.11. Canteras de áridos próximas a los cursos de agua**

En diferentes sectores de la cuenca la apertura de canteras para extracción de áridos, próximas a los cursos, ha generado la modificación de la calidad fisicoquímica de las aguas superficiales por la creación de cuerpos de agua temporarios y el incremento de los sólidos en suspensión (Véase Capítulo 6.3).

#### **6.4.2.12. Explotación del subálveo del arroyo Primavera y San José (Punto 4, Fig. 50)**

El agua para consumo humano de las localidades de 28 de Noviembre y Julia Dufour se extrae del acuífero que se ubica en el arroyo Primavera. En tanto para la ciudad de Río Turbio las captaciones aguas arriba y abajo del dique, en los acuíferos libre y confinado respectivamente, reemplazan la utilización del agua superficial del embalse San José de antaño. En este último caso, la utilización del acuífero libre para consumo humano, bajo el contexto ambiental mencionado, podría comprometer tanto el recurso como la salud de los pobladores.

#### **6.4.2.13. Actividad ganadera en los valles de la cuenca**

Una de las actividades que está surgiendo en la cuenca es la cría de ganado bovino y equino con una práctica de pastoreo libre. Es posible encontrarlos próximos a los drenajes, en las zonas de humedales, donde la oferta de agua y pasturas supera a otros sectores. Esto genera la degradación del hábitat por sobrepastoreo, compactación del suelo, pérdida de cobertura vegetal y la modificación en los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas (Bahamonde *et al.*, 2012).

#### **6.4.2.14. Plantas de efluentes de líquidos cloacales de las localidades de Julia Dufour y Río Turbio**

La falta de insumos y mantenimiento de las plantas de efluentes cloacales de las localidades genera el deficiente funcionamiento de las mismas, lo que obliga al vuelco de las aguas servidas sin tratar sobre las superficiales del sistema, provocando un cambio en las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas (Véase Capítulo 6.3).

#### **6.4.2.15. Actividades recreativas sobre los arroyos y la zona de ribera**

Durante los meses más cálidos del año, la población de la cuenca se vuelca hacia sitios de recreación y esparcimiento sobre el embalse del dique San José, los arroyos Santa Flavia, Primavera y el propio río Turbio. Las opciones recreativas que ofrece la cuenca se cuentan entre espectáculos de doma, circuito de motocross, pesca, fogones y camping. Como resultado de estas actividades se halla la degradación del medio por pérdida de vegetación, erosión (eólica-hídrica),

compactación de mallines, desperdicios generados y depositados en el lugar, que afecta las condiciones naturales y repercute sobre los cursos de agua.

### 6.4.3. Balance ecosistémico

En síntesis, en función de las características particulares del área y los diferentes actores que la integran, se presenta a continuación un acercamiento a la interacción entre los diferentes usos del territorio y sus efectos sobre los servicios ecosistémicos que la subcuenca brinda, identificando a priori las escalas de beneficios y afectaciones (Fig. 58).



Figura 58: Representación de los diferentes usos del territorio y la afectación de los servicios ecosistémicos que la subcuenca pueda brindar.

### 6.4.4. Revalorización del ecosistema

Por servicios ecosistémicos se entienden aquellas funciones que desarrollan los ecosistemas y que se traducen en beneficios para la calidad de vida de las sociedades humanas (Sabater *et al.*, 2009).

Es un hecho aceptado que cualquier intervención humana sobre el ecosistema tiene un efecto medible a corto y mediano plazo, que se traduce en una alteración de la oferta de servicios ecosistémicos (Barral *et al.*, 2011). La posibilidad de identificar, describir y cuantificar la provisión de estos servicios, desde el punto de vista ecohidrológico, constituye un punto de partida imprescindible para la toma de decisiones.

Los servicios ecosistémicos son cruciales para el desarrollo económico y el bienestar social (Costanza *et al.*, 1997). Esto resalta la importancia, por un lado, de las áreas protegidas como

sistemas de referencia para obtener información valiosa en la conservación y manejo de los recursos naturales, así como en la provisión de sitios de esparcimiento y de actividades amigables con el medio ambiente; y por el otro, de los servicios hídricos no sólo como provisión de agua en cantidad y calidad, sino también en la regulación hidrológica del ecosistema.

Un punto de partida para la puesta en valor de los recursos naturales y la toma de conciencia por parte de la sociedad, es contar con la organización a través del municipio de una estructura y un plan de gestión ambiental que involucre el ordenamiento del uso del suelo, recomposición de los lugares afectados y monitoreo del medio físico. Desde el propio yacimiento minero, el compromiso existe a partir de la responsabilidad social que esta actividad mantiene con la sociedad en la recuperación de los lugares afectados.

Como parte de la reconversión de actividades que se intenta llevar adelante en la subcuenca, el turismo es una actividad favorable para la región. Bien manejado y controlado puede aportar numerosos beneficios económicos a una localidad, así como incrementar la conciencia y la educación ambiental. Para ello es preciso contar con lineamientos adecuados de planificación, diseño y construcción de equipamiento turístico y recreativo, a fin de que la actividad beneficie y no degrade el entorno natural (Decristóforo *et al.*, 2014).

## 6.5. Síntesis

La vinculación de la información hidrológica e hidroquímica generada en los apartados precedentes permiten realizar una serie de apreciaciones que posibilitan diagnosticar el estado y funcionamiento del sistema ecohidrológico de la subcuenca del río Turbio.

*Comportamiento hidrológico.* Es consecuencia del notable cambio de las pendientes desde el sector de cabeceras hasta su desembocadura, impuesto por un control geológico - geomorfológico que incide en el desarrollo de la red de drenaje, en el diseño de los cursos principales y en la variación de los contenidos iónicos que posee el recurso superficial. Esto promueve además, que durante las épocas de deshielo y mayor pluviosidad se verifiquen diferentes tiempos de concentración de las aguas.

*Hidrodinámica del sistema vs. fisicoquímica del agua.* En el arroyo Primavera las variaciones en los contenidos iónicos no son muy significativas y atienden principalmente al alto gradiente del cauce. En consecuencia, las aguas son evacuadas rápidamente desde el sector de serranía amortiguando cualquier modificación particular en este drenaje. De esta manera, este arroyo

prácticamente sin modificación se vierte al río Turbio donde las aguas experimentan un comportamiento diferente (Fig. 59). En este punto cabe considerar el aporte hidroquímico del arroyo San José que, como se visualiza en la Figura 33, tiene una influencia significativa sobre la composición de las aguas del río Turbio. Este río muestra, en concordancia, variaciones hidroquímicas muy marcadas que siguen cierta tendencia estacional, donde el incremento o disminución de sus componentes responden a procesos climáticos (Fig. 59). Estas oscilaciones acentuadas por el tipo de cauce y las bajas pendientes se conjugan para ejercer significativa influencia en la dilución de las aguas superficiales. Los restos de magnetita y carbón encontrados en el fondo de su lecho, aguas debajo de las piletas de decantación, también pueden explicarse por la poca pendiente del curso principal y el diseño meandroso que posibilitan su permanencia en este álveo.

La caracterización fisicoquímica de los cursos principales permitió reconocer la influencia que la actividad antrópica ejerce sobre el recurso hídrico y cómo las condiciones de explotación del mineral han modificado la calidad de las aguas superficiales, con la consecuente degradación del entorno natural. En este aspecto, el arroyo San José es el que ostenta una mayor variabilidad, a pesar de su corto trayecto, debido a las múltiples actividades que se desarrollan en ese ámbito.

*Ecohidrología.* La interpretación del funcionamiento de la subcuenca está condicionada por la distribución espacial de las actividades que se desarrollan en ella y la localización de los factores que alteran el sistema ecohidrológico. Tal es así, que los fenómenos responsables de la variación en la composición original de las aguas tienen lugar principalmente durante el tránsito a través de la actividad minera y en sentido del flujo. El aporte de solutos al agua superficial es un proceso notable en el área de estudio.

Asimismo, se identificaron los diferentes actores sociales que inciden sobre el recurso hídrico y cómo el desarrollo urbano e industrial (minero, energético) pasado y actual incrementa la demanda de agua y por ende la presión sobre el sistema, modificando la calidad de vida de los que allí residen. De este modo, queda de relevancia la falta de control sobre la intervención antrópica al recurso, las falencias en la construcción de la planta de tratamiento del mineral, la ausencia de una planificación territorial y de políticas ambientales que revaloricen la región y lo que es aún más significativo, la necesidad de trabajar en incrementar la sensibilización ambiental ciudadana, a fin de que se involucren más activamente con la conservación del ambiente.

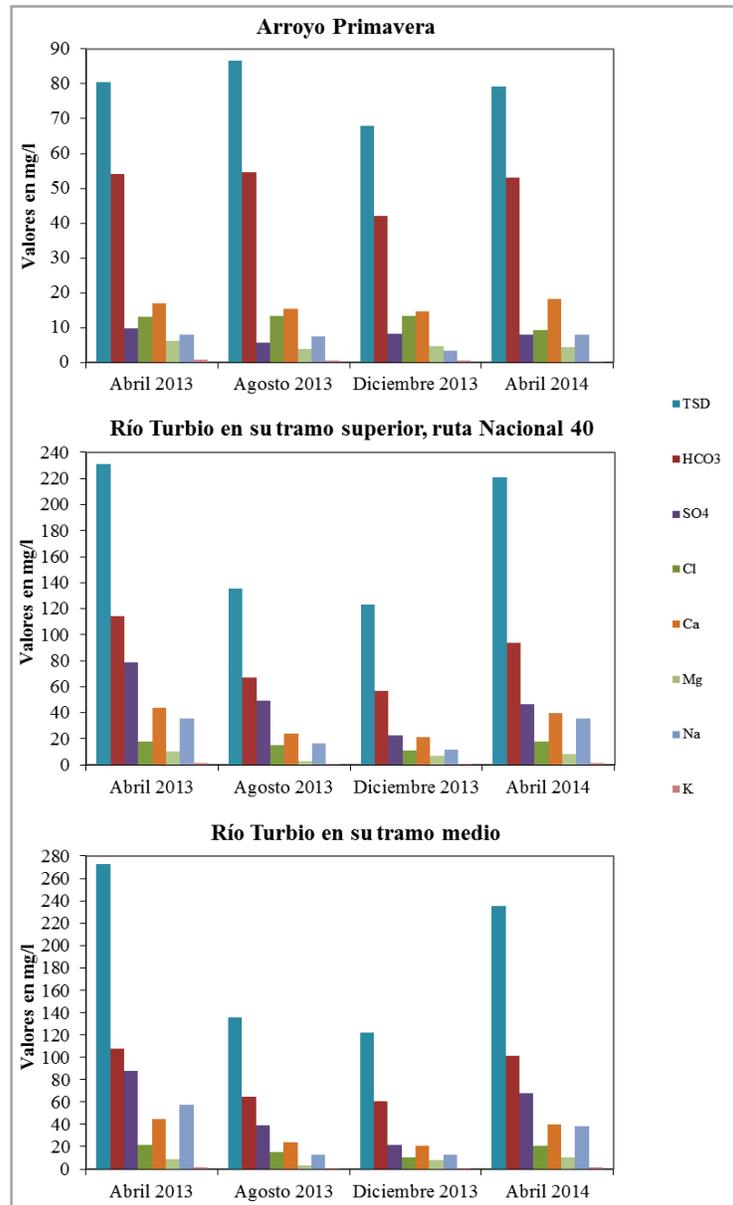


Figura 59: Variación hidroquímica interanual para el área de análisis.

Este enfoque integral permitió detectar los conflictos ambientales que acontecen en la subcuenca, sus orígenes y consecuencias, siendo un punto de partida para llevar adelante una gestión sustentable del recurso. Asimismo, puso de manifiesto la falta de información sobre la problemática ambiental que aqueja a la misma así como de planes correctivos y de mitigación.

Sería indispensable entonces, una toma de conciencia de los actores sociales hacia el ambiente y la implementación de herramientas para promover un funcionamiento saludable de los ecosistemas y garantizar el suministro de los recursos.

## 7. CONCLUSIONES

De la información generada en este estudio se extrae un diagnóstico sobre la situación ecohidrológica de la subcuenca, la cual se presenta siguiendo las diferentes líneas de análisis.

**Caracterización de las aguas superficiales.** Uno de los principales componentes medioambientales en ser afectados es la calidad del recurso hídrico superficial. La composición química del agua se halla en estrecha relación con los picos de producción, la temporalidad de los eventos climáticos y el comportamiento hidrológico que posee el sistema.

- En función de la variación en la calidad superficial del sistema ecohidrológico, se identificaron los segmentos de los cursos problemáticos y de mayor sensibilidad ambiental. Claramente existe una marcada diferencia entre los tributarios que aportan al curso principal y el propio río, por lo cual se pudo establecer que no toda la red fluvial ha sido alterada.
- Las aguas provenientes del arroyo Primavera son caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas, levemente sódicas hacia cálcica magnésica, en tanto que las aguas del arroyo San José, en su tramo inferior, y el río Turbio muestran una subordinación entre los iones bicarbonato y sulfato ( $r\text{HCO}_3/r\text{SO}_4$  entre 0,41 - 4,19) siendo su composición bicarbonatada sulfatada sódica a cálcico-sódicas, hasta sulfatada-bicarbonatada sódico-cálcica, respectivamente.
- El análisis químico en el área de influencia minera pone de manifiesto la presencia de contenidos importante de algunos metales pesados en el agua superficial. Elementos como el  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  y el  $\text{Cu}^{+2}$ , con tenores dentro de la Norma aguas arriba de YCRT, incrementan sus concentraciones en el tramo medio e inferior del arroyo San José; de manera similar el  $\text{Mn}^{+2}$  y el  $\text{Cr}^{+2}$  muestra valores elevados.
- La presencia de elementos como el  $\text{Al}^{+3}$  y el  $\text{Fe}^{+2}$  en el agua superficial de todo el sistema se debe a procesos naturales, asociados con la litología por la que discurren los cursos. Los altos valores que se dan en el arroyo San José (con máximos de 8,23 mg/l y 32,2 mg/l para el  $\text{Al}^{+3}$  y el  $\text{Fe}^{+2}$  respectivamente) y que se propagan hacia el río Turbio, pueden explicarse por la contribución de partículas minerales ( $\text{S}_2\text{Fe}$ ) procedentes de la actividad extractiva del carbón, que libera las mismas y acelera este intercambio iónico. Es así que la singularidad composicional que posee el carbón de Río Turbio es de utilidad para vincular su incidencia sobre el quimismo del agua superficial.

- La caracterización fisicoquímicas de las aguas superficiales revela las falencias en el procesamiento que se le da al carbón; la ausencia de un circuito cerrado de agua que recupere los lodos de las piletas de decantación y elimine las mismas, así como la sobredimensión de la escombrera, redundando en la afectación del ecosistema que se encuentra en contacto directo con la actividad y repercute aguas abajo sobre el río Turbio.
- La calidad del recurso hídrico hace que la CTRT necesite, para mejorar la característica del agua a utilizar en el proceso, una planta de ósmosis inversa.

**Hidrodinámica del sistema.** Se mejoró el conocimiento hidrológico en cuanto se integró el funcionamiento hidrodinámico del arroyo Primavera y río Turbio.

- El régimen de caudales al que se halla asociada la subcuenca influye positivamente sobre la capacidad de dilución que posee el ecosistema. La disminución, en épocas de deshielo y mayores precipitaciones, en la concentración del TDS e iones mayoritarios refuerza la capacidad de amortiguación que posee el medio y la funcionalidad del sistema ante la intervención minera.

**Sistema Ecohidrológico.** Se amplió el conocimiento relacionado con los efectos que produce la actividad minera en el ecosistema. Esto permitió establecer algunos de los conflictos derivados de esta actividad, su distribución espacial, y determinar las alteraciones producidas en el funcionamiento del sistema ecohidrológico.

- Se demostró que: a) la modificación de la calidad fisicoquímica del agua superficial, b) la alteración de la hidrodinámica superficial, c) la pérdida del hábitat, d) la degradación del hábitat y e) la contaminación visual, son los aspectos más problemáticos de la subcuenca y a tener en cuenta para implementar medidas de recomposición del ecosistema y plantear estrategias de gestión.
- La degradación extrema de la planicie de inundación y el mallín del arroyo San José es un escenario que alerta sobre la suerte que a la brevedad podría darse en un ya modificado río Turbio, por lo cual lleva a considerar la disponibilidad medioambiental futura de este ecosistema y por lo tanto el mantenimiento de su mallín a través del tiempo.
- El arroyo Primavera brinda un escenario natural de integridad, con disponibilidad en calidad y cantidad del recurso hídrico. Este álveo ofrece un marco de referencia para conocer como ha sido el sistema en sus comienzos y considerarlo como punto de

comparación en políticas ambientales, para revertir el estado en el que se halla el resto de la subcuenca.

- El súbito crecimiento poblacional y su expansión desmedida está causando una intervención negativa sobre el ecosistema. Consecuentemente, es necesario implementar un nuevo plan regulador de desarrollo territorial, a fin de garantizar y mantener los servicios ecosistémicos que la subcuenca puede brindar y promover la rehabilitación de áreas comprometidas.
- La existencia de la CTRT garantiza la permanencia a través del tiempo de la explotación del carbón. Es así que al plan regulador se le deberá incluir la componente ambiental, de manera tal de minimizar el efecto del desarrollo futuro de estas actividades sobre el ecosistema, en relación con el aumento en la extracción del carbón, la disposición de los estéril y las cenizas.

En función de lo expuesto y teniendo en cuenta que el funcionamiento del sistema hídrico y su relación con la actividad minera continuará evolucionando en respuesta a los futuros cambios de gestión del territorio, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Implementar un programa de monitoreo de aguas superficiales, subterráneas, sedimentos y caudales, dado que no existe un registro regular a través del tiempo. De particular importancia resultará conocer la dinámica del transporte de sedimentos en suspensión y de fondo y sus elementos asociados.
- Emplazar una estación meteorológica que cumpla con las especificaciones y genere información constante, como así también de un laboratorio de monitoreo ambiental a nivel de municipio.
- Con la mira puesta en recuperar la funcionalidad del sistema, prestar especial atención a la estacionalidad que sucede en la subcuenca, como factor determinante al momento de establecer estrategias de prevención y conservación de los ríos.
- Para aumentar la eficiencia en el uso del agua se deberá modificar el sistema de tratamiento del carbón, definir políticas ambientales, promover instituciones como por ejemplo la creación de un “Comité de Cuenca” e incorporar el planeamiento estratégico como política pública.

- Mantener y ordenar el uso de las áreas protegidas existentes, a fin de contribuir al sostenimiento de sus funciones y beneficios ambientales.
- A escala regional deberá implementarse un muestreo fisicoquímico superficial en el curso del río Gallegos, en virtud de estudiar la relación entre los resultados obtenidos en este trabajo y la situación hídrica a nivel de cuenca.

Ante este diagnóstico se confirma la hipótesis planteada, donde se postula que la subcuenca del río Turbio es vulnerable ante una amenaza externa por falta de información soporte y gestión en el manejo del recurso hídrico, hecho que se vio reflejado en la línea de base ecohidrológica.

## **8. REFERENCIAS**

### **8.1. Bibliografía**

Allan, J. D. y Castillo, M. A., 2007. Stream Ecology: Structure and function of running waters. Second Edition.

Asueta, R., Súnico, A., Vallejos, J., Martín, J. P. y Franciscovic, K., 2013. Macroinvertebrados de la Cuenca del Río Gallegos, Santa Cruz. Su asociación con la calidad ambiental. Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Río Gallegos, Unidad Académica San Julián. Provincia de Santa Cruz. Ponencia N° A 122.

Auditoría General de la Nación, 2002. Auditoría de gestión Ambiental. Resolución N° 168/02.

Bahamonde, H. y Peri, P., 2012. Calidad de aguas en río asociados a uso silvopastoril de ñire en Patagonia Sur, Argentina. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero.

Barral, M. P. y Maceira, N. O., 2011. Capítulo 19, Evaluación Ambiental Estratégica del Ordenamiento Territorial. Un estudio de caso para el Partido de Balcarce basado sobre el análisis de servicios ecosistémicos. En: Laterra, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J (Eds.). Valoración de servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Buenos Aires: INTA. pp 443 – 459.

Caballero A., 2008a. Evaluación preliminar de depósitos de estériles y sedimentos provenientes de la actividad carbonífera en río Turbio. Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Río Turbio. Provincia de Santa Cruz.

Caballero A., 2008b. Valoración del impacto de efluentes minero industriales del carbón en el arroyo San José de río Turbio en Santa Cruz. Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad académica Río Turbio.

Caballero A., 2008c. Diferenciación de efluentes mineros industriales del Carbón y poblacionales mediante el uso de la estadística multivariada: Un análisis sobre las descargas al arroyo San José de Río Turbio en la provincia de Santa Cruz. Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad académica Río Turbio.

Caballero A., 2008d. Informe Técnico N°2. Proyecto "Valoración cuantitativa del impacto minero industrial del carbón en un curso de agua-Caso del arroyo San José de Río Turbio".

Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad académica Río Turbio. Provincia de Santa Cruz.

Caldenius, C., 1932. Las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. Dirección General de Minería y Geología, vol. 95, p.152, Buenos Aires.

Ceirano, E. y Zucarelli, G., 2001. Programa de capacitación ambiental minera para profesionales y técnicos de las unidades de gestión ambiental minera de las provincias del Pasma II. Unidad 2: Evaluación de los recursos naturales y humanos.

Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W., 1994. Hidrología Aplicada. Ed. McGrawHill, Bogotá, p. 584.

Código Alimentario Argentino, 1969. Ley 18284. Actualizado en 2007. Capítulo XII, Agua para bebida, Agua gasificada y Agua potable.

Código de Minería, 1995. Ley Nacional 24585 de la Protección ambiental para la actividad minera. Boletín Oficial del Estado. <http://infoleg.mecon.gov.ar/>.

Corbella, H., Ercolano, B., Coronato, A. y Tiberi, P., 2014. Tectónica distensiva, magmatismo y glaciaciones en la cuenca superior y media del río Gallegos, Patagonia Austral. XIX Congreso Geológico Argentino.

Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Bruce Hannon, E., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P. y Van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.

Decristófano, L., Ferrari, S. y Albrieu, C., 2014. Reservas naturales y urbanas en el sur de Santa Cruz (Argentina): Importancia, caracterización del uso público e incidencia sobre las comunidades vecinas. *Revista de Informes Científicos Técnicos de la UNPA*. Volumen 6 Número 2: 90-117.

De Jong, G. M., 2005. La planificación regional y el trabajo interdisciplinario: su especificidad en el manejo de cuencas hidrográficas. *Boletín Geográfico* 26, 125-135.

Díaz B.G., Schweitzer A.F. y Martínez G.E., 2006. Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas de la provincia de Santa Cruz (Patagonia Austral, Argentina). VI° Jornadas Patagónicas de Geografía. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew (Chubut).

Diraison, M., Cobbold, P.R., Gapais, D. y Rosello, A.E., 1997. Magellan Strait, part of a Neogene rift System. *Geology* 25(8)703-706.

Ecolano, B., Tiberi, P., Corbella, H., Coronato, A. y Marderwald, G., 2014. Aspectos geomorfológicos del valle medio y superior del río Gallegos. III Encuentro de Investigadores de la Patagonia Austral. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. 1 ed.

Ecolano, B., Tiberi, P., Marderwald, G., Coronato, A. y Corbella, H., 2015. Morfología glacial pedemontana en el interfluvio de los ríos Coyle y Gallegos, Patagonia Austral, Argentina. VI Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología.

Fattorelli S. y Fernández P. C., 2011. Diseño Hidrológico. Instituto Nacional del Agua (INA). Edición Digital.

Filippini, J. R., 1962. Reseña de los estudios sobre carbones del Yacimiento Río Turbio realizados en Francia. Posibilidades de incorporación del carbón Manto Dorotea a pasta de coque. Informe Nº 45, Yacimientos Carboníferos Fiscales. Ministerio de la Producción de la Provincia de Santa Cruz. Inédito.

Furque, G. y Caballé, M., 1987. Estudio geológico y geomorfológico de la cuenca superior de río Turbio, Provincia de Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones.

Furque, G. y Caballé, M., 1993. Geología de la Cuenca Superior de Río Turbio, Provincia de Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones. Serie de investigaciones Aplicadas. Colección Hidrología Subterránea, 6: 9-39.

Ghiglione, M. C., Quinteros J., Yagupsky, D., Bonillo Martinez P., Hlebszevtich, J., Ramos, V. A. y Quesada S., 2010. Structure and Tectonic History of the Foreland Basins of Southernmost South America. *Journal Of South American Earth Sciencies*, 29 (2), 262-277.

Gil, M., Harvey, M., y Esteves, J. L., 1995. Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y material en suspensión de la cuenca Turbio-Gallegos. Centro Nacional Patagónico. Fundación Patagonia Natural.

Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56, 275-370.

Investigaciones y Desarrollos Mineros S. A. Universidad Nacional de San Juan, 1988. Estudio de Depuración de los Lodos de la Planta Depuradora de Carbón de YCF. Actas e Informes finales .YCRT. Río Turbio Santa Cruz.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INDEC), 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Resultados provisionales. Subsecretaria de Planeamiento, Dirección Provincial de Estadística y Censos. Provincia de Santa Cruz.

Instituto Nacional del Agua (INA), 1999. Estudio de la sedimentación de las descargas de la planta de Y.C.R.T. en el Río Turbio. Instituto Nacional del agua y del Ambiente. Informe final.

Instituto Nacional del Agua (INA), 2010. Estudio de Prospección Hídrica y Plan Estratégico 2010/2014.

Jardí, M., 1985. Forma de una cuenca de drenaje: Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, vol. XIX. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona.pp. 41-68, Barcelona.

K y P Servicios Mineros en asociación con el *Council for Geosciences of South África* y en asociación con la Universidad Patagónica Austral, 2007. Informe de Impacto Ambiental para la etapa de explotación Yacimiento Río Turbio.

Kreps, G., Martínez Pastur, G. y Peri, P. L., 2012. Cambio Climático en Patagonia Sur. Escenarios futuros en el manejo de los recursos naturales. Ediciones: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Lakefield Research Argentina S.A., 2001. Segundo Proyecto de Asistencia técnica para el desarrollo del Sector Minero Argentino (PASMA II) Informe Zona Sur. Provincia de Santa Cruz.

Ley Provincial N° 1.451, 1982. Del Estudio, Uso y Preservación de las Aguas Públicas Provinciales No Marítimas. <http://consejoagrario.santacruz.gov.ar/cap/normat/ley1451.htm>.

Ley Provincial N° 2658, 2003. De la Evaluación de Impacto Ambiental de la Provincia de Santa Cruz. <http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/index.php?opcion=ley>.

Lurgi, 1950. Tratado: Relativo a la explotación del carbón de Río Turbio. Gesellschaft Fur Warmetschnik M.B.H., Frankfurt A. M., Alemania. Ministerio de la Producción de la Provincia de Santa Cruz. Inédito.

Malumian, N. y Panza, J. L., 2000. Hoja Geológica 5172 III, Yacimiento Río Turbio, Provincia de Santa Cruz. Escala 1:250.000.

Martínez S. M. y Fernández Yuste, J. A., 2006. El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible, una diversidad predecible. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.:* 153-165.

Meglioli, A., 1992. Glacial geology and chronology of southernmost Patagonia and Tierra del Fuego, Argentina and Chile. Ph.D. Dissertation, Lehigh University, 216 p. Pennsylvania, U.S.A.

Nicolli, H. y Merino, M., 1992. Caracterización geoquímica de las aguas de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos, provincia de Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Informe 1° etapa de trabajo.

Nicolli, H. y Merino, M., 1993. Caracterización geoquímica de las aguas de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos, provincia de Santa Cruz. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Informe final.

Pastor, J.M.F. y Bonilla, J., 1966. Análisis del medio Natural. En: Municipalidad de Río Gallegos (Eds.): Plan Regulador de la Ciudad de Río Gallegos, 2a: 27-51.

Paz, F., Albrieu, C. y Pesin Whitelegg, C., 2009. Aves del Dique San José: Río Turbio, Patagonia, Argentina.

Peri, P. y Paz, F., 2013. Reserva Provincial Punta Gruesa: Una mirada al bosque nativo y los pastizales naturales. 1 ed. Río Gallegos 67 p.

Rabassa, J. y Clapperton, C.M., 1990. Quaternary Glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Science Review* 9: 153-174.

Romero Díaz, M. A. y López Bermúdez, F., 1987. Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía*, 12, 47-62.

Sabater S. y Elosegí A., 2009. Capítulo 1, Presentación: importancias de los ríos. En: Sabater S. y Elosegí A. (Eds.): *Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial*. Rubes Editorial, 15-21.

Sagredo, E. A., Moreno, P. I., Villa-Martínez, R., Kaplan, M. R., Kubik, P.W. y Stern, C.R., 2011. Fluctuations of the Última Esperanza ice lobe (52°S), Chilean Patagonia, during the last glacial maximum and termination 1. *Journal of Geomorphology* 125, 92–108.

Sala, M. y Gay, R., 1981. Algunos datos morfométricos de la cuenca del Isábena. *Notas de Geografía Física*, 4, 41-65.

Schumm, S. A., 1956. The evolution of drainage system and slopes in badlands at Pearth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, 597-646.

Senciales González, J. M., 1999. Redes Fluviales, metodología de análisis. Ed. Universidad de Málaga, Málaga. 337 pp.

Seoánez Calvo M., 2002. Tratado de Climatología Aplicada a la Ingeniería Medioambiental. Análisis Climático, Uso del análisis climático en los estudios medioambientales.

Serman y Asociados S.A., 2008. Estudio de Impacto Ambiental Central Termoeléctrica a carbón Río Turbio, Santa Cruz.

Serman y Asociados S.A., 2014. Renovación de DIA, año 2014 Central Termoeléctrica a carbón Río Turbio, Santa Cruz. Informe de Cumplimiento: Auditoría Ambiental de Cumplimiento, Incidentes y Modificaciones. Capítulo 2 – Auditoría de cumplimiento ambiental.

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), 2006. Estudio de impacto ambiental Central Termoeléctrica a Carbón río Turbio, Santa Cruz. Inédito.

Strahler, A. N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Handbook of Applied Hydrology, 4-39/4-76, edited by V. T. Chow, Mc Graw-Hill, New York.

Subsecretaría de Medio Ambiente, 1999. Expediente N° 412.660/00. Río Gallegos, Provincia de Santa Cruz.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH), 2010. Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina.

Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Santa Cruz, 2011. Informe de Impacto Ambiental Yacimientos Carboníferos Río Turbio (YCRT).

WCED, 1987. Nuestro Futuro Común, Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Oxford University Press. 400 p.

Weiner, E. R., 2008. Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A practical Guide. Second Edition.

WMO (World Meteorological Organization), 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations. Publication No. 8.

Yacimientos Carboníferos Fiscales, 1984. Generalidades sobre combustibles sólidos minerales. Carbones argentinos. Boletín Inédito.

Zalewski, M., Janauer, G. A. y Jolankaj, G., 1997. Ecohydrology: a new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. Technical Documents in Hydrology no. 7, IHP-V Projects 2.3/2.4, UNESCO, Paris, France.

## **8.2. Recursos digitales**

Galería de fotos de Río Turbio. <http://www.interpatagonia.com/>

Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.gob.ar/>

Municipalidad de 28 de Noviembre. <http://www.28denoviembre.gob.ar/>

NASA. <http://www.glovis.usgs.gov/>

Pioneros de Siempre. Portal de la historia de Río Turbio. <http://www.pionerosrioturbio.com.ar/>

Sistema de Información Territorial de la Provincia de Santa Cruz. <http://www.sitsantacruz.gob.ar/>

Yacimientos Carboníferos Río Turbio. <http://www.ycrt.gov.ar/>

## 9. ANEXO

### 9.1. Anexo I: Relevamiento de la información hidroquímica antecedente

Tabla 1.1: Arroyo San José, en el rebalse del dique.

Lugar de Muestreo		Arroyo San José, en el rebalse del dique				
Fuente		CABALLERO			ISOLUX CORSAN	UTN
Fecha		Jun 2006	Dic 2006	Abr 2007	Abr 2008	Mar 2011
Determinación In situ	Temperatura (°C)	5	6		7	
	pH (U de pH)	7,1	6,7		7,9	7,4
	Conductividad(μs/cm)	280	216			
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)	236	149			137
	HC03- (mg/l)	112	93			
	Cl- (mg/l)	12	11			
	S04= (mg/l)	18	4			
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	12	8			
	K <sup>+</sup> (mg/l)	1	1			
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	42	33			
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	4	5			
	Al (mg/l)				<0,20	0,288
	Zn (mg/l)	0,03	0,025	0,24	<0,02	0,056
	Cu (mg/l)	<0,01	<0,01	0,31	0,003	<0,005
	Cr Total (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,002	<0,002
	Fe Total (mg/l)	0,22	0,18	84,37		0,285
Pb (mg/l)	<0,03	<0,03	0,05	0,001	<0,002	
Mn (mg/l)	<0,01	<0,01	0,13	0,63	0,014	

Tabla 1.2: Arroyo San José, confluencia con el arroyo Santa Flavia.

	Lugar de Muestreo	Arroyo San José, en su confluencia con el arroyo Santa Flavia				
	Fuente	SEGEMAR	CABALLERO	ISOLUX CORSAN	UTN	
	Fecha	Mar 2006	Jun 2006	Dic 2006	Abr 2008	Mar 2011
Determinación In situ	Temperatura (°C)	10,5	7	9	6,7	
	pH (U de pH)	7,6	7,3	7,1	8,1	7,6
	Conductividad(µs/cm)	490	746	730		
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)	293,75	614	534	<10	442
	HC03- (mg/l)	196,4	267	281		
	Cl- (mg/l)	27,2	29	29		
	S04= (mg/l)	47,39	82	67		
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	59,8	45	47		
	K <sup>+</sup> (mg/l)	7,4	6	6		
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	48,74	69	69		
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	14,1	23	23		
	Al (mg/l)				<0,20	0,325
	Zn (mg/l)		0,08	0,16	0,02	0,054
	Cu (mg/l)		0,02	0,04	<0,002	0,011
	Cr Total (mg/l)		<0,05	<0,05	<0,002	<0,002
	Fe Total (mg/l)	0,2	0,19	0,62		0,28
	Pb (mg/l)		<0,03	<0,03	<0,001	<0,002
Mn (mg/l)		0,28	0,46	0,42	0,113	

Tabla 1.3: Arroyo San José, antes del río Turbio.

Lugar de Muestreo		Arroyo San José, antes del río Turbio												
Fuente		PASMA		SEGEMAR	CABALLERO		ISOLUX CORSAN			UTN	ISOLUX CORSAN			
Fecha		Abr 2000	Sept 2000	Mar 2006	Jun 2006	Dic 2006	Abr 2007	Abr 2008	Nov 2010	Mar 2011	May 2011	Nov 2011	May 2012	
Determinación In situ	Temperatura (°C)	6	9	7	6	7		11,6	16,8		6,8	19,4	-0,3	
	pH (U de pH)	8,1	7,7	6,6	7,7	7,8		7,4	7,4	7,3	7,6	7,2	7,5	
	Conductividad(µs/cm)	870	698	648	520	735								
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)	827	460	750	754	23452		670						
	HC03- (mg/l)	270	149	265	125	194								
	Cl- (mg/l)	22,7	21,2	30,4	10	18								
	S04= (mg/l)	50,6	150	149,47	238	170								
	Na+ (mg/l)	107	80,5	92	145	130								
	K+ (mg/l)	3,6	2,84	3,51	3	3								
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	56	90	62,12	16	27								
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	10,2	14,2	21,28	1	5								
	Al (mg/l)	2,6	8,23						8,12	1,49	2,588	0,76	0,64	<0,20
	Zn (mg/l)	0,04	0,17		0,05	1,31	0,24	0,03			0,064			
	Cu (mg/l)	<0,01	<0,005		0,03	1,52	0,31	0,016			0,088			
	Cr Total (mg/l)	<0,01	<0,005		<0,05	0,13	<0,05	0,003			<0,002			
	Fe Total (mg/l)	18,5	32,2		5,38	311,7	84,4				4,22			
	Pb (mg/l)	<0,001	<0,01		<0,03	0,31	0,05	0,007	0,002		<0,002	<0,001	0,002	<0,001
	Mn (mg/l)				0,19	3,82	1,41	0,8			0,25			

Tabla 1.4: Arroyo Santa Flavia, aguas arriba.

Lugar de Muestreo		Arroyo Santa Flavia, aguas arriba				
Fuente		PASMA	SEGEMAR	ISOLUX CORSAN	UTN	
Fecha		Abr 2000	Sept 2000	Mar 2006	Abr 2008	Mar 2011
Determinación In situ	Temperatura (°C)	0,4	0,4	5,9	2,7	
	pH (U de pH)	6,5	7,7	7,5	8,1	7,8
	Conductividad(µs/cm)			176		
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)	109	185			176
	HC03- (mg/l)	8,5	98	111,8		
	Cl- (mg/l)	6,4	12,4	18,6		
	S04= (mg/l)	13,1	11,1	48		
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	7,2	13	66,7		
	K <sup>+</sup> (mg/l)	1,2	1,1	1,27		
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	16,3	24	28,46		
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	1,9	4,9	9,75		
	Al (mg/l)	0,06	0,07		<0,20	0,263
	Zn (mg/l)	<0,01	0,02			0,054
	Cu (mg/l)	<0,01	<0,01		<0,002	0,012
	Cr Total (mg/l)	<0,01	<0,005		<0,002	<0,002
	Fe Total (mg/l)	0,12	0,64			0,362
	Pb (mg/l)	<0,001	<0,01		<0,001	<0,002
	Mn (mg/l)	<0,01	0,015		<0,05	0,108

Tabla 1.5: Arroyo Santa Flavia, aguas abajo

Lugar de Muestreo		Arroyo Santa Flavia, aguas abajo				
Fuente		CABALLERO		ISOLUX CORSAN		UTN
Fecha		Jun 2006	Dic 2006	Abr 2008		Mar 2011
Determinación In situ	Temperatura (°C)	3	5	2,8	5,1	
	pH (U de pH)	7,2	7,1	8,1	8,3	7,9
	Conductividad(μs/cm)	691	546			
	Sólidos totales (mg/l)					248
Parámetros Analizados	HC03- (mg/l)	221	216			
	Cl- (mg/l)	31	24			
	S04= (mg/l)	80	48			
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	40	33			
	K <sup>+</sup> (mg/l)	4	4			
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	70	60			
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	40	16			
	Al (mg/l)			<0,20	0,33	0,35
	Zn (mg/l)	0,02	0,02			0,076
	Cu (mg/l)	<0,01	<0,01	0,003	0,008	0,008
	Cr Total (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,002	<0,002	<0,002
	Fe Total (mg/l)	0,49	1,52			0,438
	Pb (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,001	0,002	<0,002
Mn (mg/l)	0,34	0,34	<0,05	0,52	0,011	

Tabla 1.6: Arroyo Primavera, aguas arriba.

Lugar de Muestreo		Arroyo Primavera, aguas arriba					
Fuente		PASMA					
Fecha		Abr2000	Sept 2000	Abr 2000	Sept 2000	Abr 2000	Sept 2000
Determinación In situ	Temperatura (°C)	2,7	0,2	2,2	0,1	3,9	0,6
	pH (U de pH)	6,5	7,2	7,5	7,2	8,2	7,8
	Conductividad(μs/cm)	95		192,9		117,5	
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)	107	157	192	348	132	165
	HC03- (mg/l)	25	79	37	116	34	85
	Cl- (mg/l)	3,2	6	6,9	7,8	4,8	6
	S04= (mg/l)	7.3	5,1	14.4	11,3	13,3	11,1
	Na (mg/l)	10,1	6,9	15,5	20,7	10,9	9,1
	K <sup>+</sup> (mg/l)	0,5	1	1	1,11	0,9	0,89
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	20	15	30,9	23	21,3	19
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	1,1	4,1	2,3	5,3	1,7	4,5
	Al (mg/l)	<0,01	0,02	0,01	0,05	0,02	0,04
	Zn (mg/l)	<0,01	0,02	0,01	0,09	<0,01	0,03
	Cu (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Cr Total (mg/l)	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005
	Fe Total (mg/l)	0,21	0,04	0,13	0,3	0,17	0,1
	Pb (mg/l)	<0,001	<0,01	<0,001	<0,01	<0,001	<0,01
Mn (mg/l)	0,01	0,05	0,11	<0,005	0,064	<0,005	

Tabla 1.7: Arroyo Primavera, antes de la confluencia con el arroyo San José.

Lugar de Muestreo		Arroyo Primavera, antes de la confluencia con el arroyo San José								
Fuente		SEGEMAR	ISOLUX CORSAN	UTN		ISOLUX CORSAN				
Fecha		Mar 2006	Abr 2008	Mar 2011	Mar 2011	Nov 2010	May 2011	Nov 2011	May 2012	
Determinación In situ	Temperatura (°C)	14				9	8,8	20,1	-0,3	
	pH (U de pH)	7,5		7,8	7,6	7,4	7,7	7,4	7,5	
	Conductividad(μs/cm)	122,3								
	Sólidos totales (mg/l)			80	96					
Parámetros Analizados	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	71,6								
	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	9,2								
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	5								
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	5,75								
	K <sup>+</sup> (mg/l)	0,68								
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	15,79								
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	13,22		0,012	<0,008					
	Al (mg/l)		<0,20	0,413	0,438	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
	Zn (mg/l)		<0,02	0,095	0,071					
	Cu (mg/l)		<0,002	0,014	0,015					
	Cr Total (mg/l)		<0,002	<0,002	<0,002					
	Fe Total (mg/l)			0,176	0,159					
	Pb (mg/l)			0,001	<0,002	<0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Mn (mg/l)			<0,05	0,012	<0,008				

Tabla 1.8: Río Turbio, confluencia arroyos Primavera y San José

Lugar de Muestreo		Río Turbio, confluencia arroyos Primavera y San José		
Fuente		ISOLUX CORSAN		UTN
Fecha		Abr 2008	Abr2008	Mar 2011
Determinación In situ	Temperatura (°C)	4	2,5	
	pH (U de pH)	8,3	8	7,1
	Conductividad(μs/cm)			
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)			177
	HC03- (mg/l)			
	Cl- (mg/l)			
	S04= (mg/l)			
	Na <sup>+</sup> (mg/l)			
	K <sup>+</sup> (mg/l)			
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)			
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)			
	Al (mg/l)	3,55	2,17	1,375
	Zn (mg/l)	<0,02	0,02	0,069
	Cu (mg/l)	0,013	0,09	0,014
	Cr Total (mg/l)	<0,002	<0,002	<0,002
	Fe Total (mg/l)			1,318
	Pb (mg/l)	<0,001	0,001	<0,002
	Mn (mg/l)	0,27	0,19	0,092

Tabla 1.9: Río Turbio, en el puente de la ruta N° 40

Lugar de Muestreo		Río Turbio, en el puente de la ruta N° 40							
Fuente		SEGEMAR	ISOLUX CORSAN			UTN	ISOLUX CORSAN		
Fecha		Mar 2006	Abr 2008	May 2010	Nov 2010	Mar 2011	May 2011	Nov 2011	May 2012
Determinación In situ	Temperatura (°C)	7,5	4,3	5	13,5		7	20,8	8
	pH (U de pH)	8,4	8,4	7,6	7,2		7,1	7,9	7,8
	Conductividad(μs/cm)	313							
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)		18800						
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	117,6							
	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	17,2							
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	50,67							
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	18,75							
	K <sup>+</sup> (mg/l)	1,56							
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	32,06							
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	10,66							
	Al (mg/l)		157	8,5	0,45	0,813	88	5,38	28,7
	Zn (mg/l)		0,4			0,145			
	Cu (mg/l)		0,42			0,01			
	Cr Total (mg/l)		0,034			<0,002			
	Fe Total (mg/l)					2,383			
	Pb (mg/l)		0,061	0,008	0,001	<0,002	0,03	0,002	0,007
	Mn (mg/l)		1,74			<0,080			

Tabla 1.10: Río Turbio, aguas debajo de la CTRT

Lugar de Muestreo		Río Turbio, aguas debajo de la CTRT											
Fuente		PASMA		SEGEMAR				ISOLUX CORSAN					
Fecha		Abr 2000	Sept 2000	Mar 2006	Mar 2006	Ab 2008	Abr 2008	Abr 2008	May 2010	Nov 2010	May 2011	Nov 2011	May 2012
Determinación In situ	Temperatura (°C)	4,3	5,8	7,5	7,5	12,3	12,6	4,2	3,7	13,6	10	15,4	-0,6
	pH (U de pH)	6,9	8,1	8,5	8,1	7,9	8,1	8	7,5	7,4	7,7	7,3	7,7
	Conductividad(μs/cm)	246	402,3	300	306								
Parámetros Analizados	Sólidos totales (mg/l)												
	HC03- (mg/l)	57	122	114,4	109								
	Cl- (mg/l)	15,3	15,7	18,4	14,4								
	S04= (mg/l)	28,1	75,1	46,29	50,67								
	Na <sup>+</sup> (mg/l)	32,6	12,6	24,15	23								
	K <sup>+</sup> (mg/l)	1,3	1,81	1,17	1,17								
	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	37,6	52	32,22	34,47								
	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	2,2	8,6	7,44	12,05								
	Al (mg/l)	0,07	2,94			25,5	33,4	24,8	5,1	0,28	60	4,77	1,13
	Zn (mg/l)	<0,01	0,17			0,1	0,1	0,07					
	Cu (mg/l)	<0,01	<0,01			0,046	0,5	0,04					
	Cr Total (mg/l)	<0,01	<0,005			0,008	0,009	<0,002					
	Fe Total (mg/l)	0,26	9,2										
	Pb (mg/l)	<0,001	<0,01			0,023	0,026	0,014	0,006	<0,001	0,01	0,005	<0,001
	Mn (mg/l)	0,13	0,39			2,9	3,09	2,48					

## 9.2 Anexo II: Determinación de parámetros fisicoquímicos, contenidos de iones mayoritarios y metales

Tabla 2.1: Toma de Muestra, arroyo Primavera

Toma de Muestra: Arroyo Primavera				Resultados			
Parámetros Analizados		Método de Análisis	Unidad	Abr 2013	Ago 2013	Dic 2013	Abr 2014
IN SITU	Temperatura		°C	8,7	1,1	11,2	8,3
	pH		U de pH	8,77	8,45	8,64	8,68
	Conductividad		µs/cm	125,3	135,7	89,1	125,7
	TSD		mg/l	62,7	69	44,6	63
EN LABORATORIO	Alcalinidad (como CO <sub>3</sub> Ca)	SM 2320 B	mg/l	54	54,5	42	53
	Bicarbonatos	SM 2320 B	mg/l	54	54,5	42	53
	Carbonatos	SM 2320 B	mg/l	54	0	0	0
	Aluminio residual	SM 3500 D	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	Calcio total y disueltos	SM 3500 D	mg/l	16,91	15,31	14,75	18,2
	Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	SM 2340 C	mg/l	68,2	54,4	56,4	64
	Magnesio total y disuelto	SM 3550 E	mg/l	6,21	3,86	4,68	4,44
	Conductividad	SM 2510B	mS/cm	130,9	140,9	110,5	128,8
	TSD		mg/l	80,50	86,65	67,96	79,21
	Cloruro	SM 4500 B	mg/l	13	13,4	13,3	9,3
	Fluor	SM 4500 C	mg/l	0,16	ND	ND	ND
	Fosfato	SM 4500 C	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Silicio	SM 4500 D	mg/l	16,831	22,015	14,459	7,313
	Sodio Total	SM 4500 D	mg/l	8,05	7,47	3,45	8,05
	Potasio Total	SM 4500 D	mg/l	0,68	0,49	0,49	0,29
	Sulfato	SM 4500 E	mg/l	9,88	5,73	8,34	7,96
	Sólidos totales	SM 2540 B	mg/l	82	125	69	81
	pH	SM 4500 B	mg/l	7,48	8,2	7,2	7,6
	Sulfuro	SM 4500 D	mg/l	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
	Cadmio	SM 3500 B	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	Cinc	SM 3500 B	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Cobre	SM 3500 B	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Cromo total	SM 3500 B	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Cromo <sup>+6</sup>	SM 3500 D	mg/l	ND	ND	<0,025	<0,025
	Hierro total	SM 3500 B	mg/l	0,05	0,218	0,11	<0,05
	Manganeso	SM 3500 D	mg/l	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Plata	SM 3500 B	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mercurio	SM 3500 B	mg/l	<0,001	ND	<0,001	<0,001	
Niquel	SM 3500 B	mg/l	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	
Arsénico	SM 3500 C	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Turbiedad	SM2130 B	UNT			2,04	1,9	

Tabla 2.1: Toma de muestra, río Turbio sobre la ruta Nacional N° 40

Toma de Muestra: Río Turbio sobre ruta N° 40				Resultados			
Parámetros Analizados		Método de Análisis	Unidad	Abr 2013	Ago 2013	Dic 2013	Abr 2014
IN SITU	Temperatura		°C	11	1,9	12,2	12,2
	pH		U de pH	9,05	8,34	8,17	8,48
	Conductividad		µs/cm	363	242	194,2	373
	TSD		mg/l	183,3	122,9	97,3	191,4
EN LABORATORIO	Alcalinidad (como CO <sub>3</sub> Ca)	SM 2320 B	mg/l	116	67	57	94
	Bicarbonatos	SM 2320 B	mg/l	114	67	57	94
	Carbonatos	SM 2320 B	mg/l	2	0	0	0
	Aluminio residual	SM 3500 D	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	Calcio total y disueltos	SM 3500 D	mg/l	43,77	23,65	21	39,68
	Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	SM 2340 C	mg/l	153,6	69,8	81,8	132,2
	Magnesio total y disuelto	SM 3550 E	mg/l	10,6	2,56	7,03	7,92
	Conductividad	SM 2510B	mS/cm	376	220	200,5	359
	TSD		mg/l	231,24	135,30	123,31	220,79
	Cloruro	SM 4500 B	mg/l	18	15	10,7	17,9
	Fluor	SM 4500 C	mg/l	0,27	ND	ND	ND
	Fosfato	SM 4500 C	mg/l	0,178	<0,05	0,059	0,178
	Silicio	SM 4500 D	mg/l	23,612	13,337	17,33	7,725
	Sodio Total	SM 4500 D	mg/l	35,65	16,1	11,5	35,65
	Potasio Total	SM 4500 D	mg/l	1,56	0,58	0,58	1,36
	Sulfato	SM 4500 E	mg/l	78,69	48,99	22,88	46,76
	Sólidos totales	SM 2540 B	mg/l	4393	1768	126	220
	pH	SM 4500 B	mg/l	8,37	7,91	6,9	7,44
	Sulfuro	SM 4500 D	mg/l	Negativo	negativo	negativo	Negativo
	Cadmio	SM 3500 B	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	Cinc	SM 3500 B	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Cobre	SM 3500 B	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Cromo total	SM 3500 B	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Cromo <sup>+6</sup>	SM 3500 D	mg/l			<0,025	<0,025
	Hierro total	SM 3500 B	mg/l	6,054	12,862	3,444	1,212
	Manganeso	SM 3500 D	mg/l	3,138	0,204	0,49	<0,1
	Plata	SM 3500 B	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mercurio	SM 3500 B	mg/l	<0,001	ND	<0,001	<0,001	
Niquel	SM 3500 B	mg/l	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	
Arsénico	SM 3500 C	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Turbiedad	SM2130 B	UNT		759	226	39,5	

Tabla 2.3: Toma de muestra sobre el río Turbio aguas debajo de la localidad de 28 de Noviembre

Toma de Muestra: Río Turbio aguas abajo			Resultados				
Parámetros Analizados		Método de Análisis	Unidad	Abr 2013	Ago 2013	Dic 2013	Abr 2014
IN SITU	Temperatura		°C	8,6	3,3	13	10,2
	pH		U de pH	8,37	8,47	8,44	7,63
	Conductividad		µs/cm	454	213	187,9	407
	TSD		mg/l	228	111,3	94,1	204
EN LABORATORIO	Alcalinidad (como CO <sub>3</sub> Ca)	SM 2320 B	mg/l	108	65	61	101
	Bicarbonatos	SM 2320 B	mg/l	108	65	61	101
	Carbonatos	SM 2320 B	mg/l	0	0	0	0
	Aluminio residual	SM 3500 D	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	Calcio total y disueltos	SM 3500 D	mg/l	44,57	23,57	21,08	40,16
	Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	SM 2340 C	mg/l	149,2	72,8	84,8	142,6
	Magnesio total y disuelto	SM 3550 E	mg/l	9,06	3,33	7,7	10,12
	Conductividad	SM 2510B	mS/cm	444	220	198,7	382
	TSD		mg/l	273,06	135,30	122,20	234,93
	Cloruro	SM 4500 B	mg/l	21,3	15,3	10,5	20,6
	Fluor	SM 4500 C	mg/l	0,26			
	Fosfato	SM 4500 C	mg/l	0,065	<0,05	0,061	0,065
	Silicio	SM 4500 D	mg/l	15,386	13,883	12,614	8,014
	Sodio Total	SM 4500 D	mg/l	57,5	12,65	12,65	37,95
	Potasio Total	SM 4500 D	mg/l	1,95	0,78	0,68	1,56
	Sulfato	SM 4500 E	mg/l	87,39	39,26	21,24	68,08
	Sólidos totales	SM 2540 B	mg/l	3846	226	124	239
	pH	SM 4500 B	mg/l	7,67	7,66	7,15	7,16
	Sulfuro	SM 4500 D	mg/l	Negativo	negativo	negativo	Negativo
	Cadmio	SM 3500 B	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	Cinc	SM 3500 B	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Cobre	SM 3500 B	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Cromo total	SM 3500 B	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Cromo <sup>+6</sup>	SM 3500 D	mg/l			<0,025	<0,025
	Hierro total	SM 3500 B	mg/l	7,813	0,901	0,974	3,351
	Manganeso	SM 3500 D	mg/l	0,647	<0,1	<0,1	<0,1
	Plata	SM 3500 B	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mercurio	SM 3500 B	mg/l	<0,001	ND	<0,001	<0,001	
Niquel	SM 3500 B	mg/l	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	
Arsénico	SM 3500 C	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Turbiedad	SM2130 B	UNT			38	175	