

# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CENTRAL TERMOELÉCTRICA A CARBÓN RIO TURBIO, SANTA CRUZ

## INFORME FINAL

### CAPITULO 5: LÍNEA DE BASE AMBIENTAL 2) MEDIO FÍSICO

#### INDICE

<b>1. MEDIO FÍSICO</b>	<b>3</b>
<b>1.1 CLIMATOLOGÍA</b>	<b>3</b>
1.1.1 Climatología Regional	3
1.1.2 Climatología de la Zona de Río Turbio	8
1.1.3 Síntesis Climática	36
<b>1.2 CALIDAD DEL AIRE</b>	<b>38</b>
1.2.1 Introducción	38
1.2.2 Condiciones Meteorológicas	40
1.2.3 Normas de Referencia para la Evaluación	40
1.2.4 Análisis de los resultados del muestreo	46
1.2.5 Análisis de los resultados según la normativa chilena	52
<b>1.3 GEOLOGÍA</b>	<b>54</b>
1.3.1 Introducción	54
1.3.2 Geología correspondiente a la cuenca superior del río Turbio. Marco geológico general que contiene a las alternativas 1 y 2	55
1.3.3 Geología correspondiente a las alternativas 1 y 2	89
<b>1.4 EDAFOLOGÍA</b>	<b>107</b>
1.4.1 Descripción de los Suelos de la Región	107
1.4.2 Calidad de Suelos	113
<b>1.5 HIDROLOGÍA</b>	<b>132</b>

---

1.5.1	Cursos de Agua Superficiales	132
1.5.2	Calidad de Aguas Superficiales	142
<b>1.6</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	<b>159</b>
1.6.1	Introducción	159
1.6.2	Hidrogeología de la cuenca superior del río Turbio. Marco hidrogeológico general que contiene a las alternativas 1 y 2	159
1.6.3	Hidrogeología correspondiente a las alternativas 1 y 2	160
1.6.4	Calidad de Agua Subterránea	164

## **1. MEDIO FÍSICO**

### **1.1 CLIMATOLOGÍA**

En el sentido más amplio, clima es una condición característica de la atmósfera próxima a la superficie terrestre en un lugar, o sobre una región determinada. La manifestación del clima a partir de una región concreta, se define a partir del promedio de las observaciones acumuladas sobre series de períodos anuales (Arthur N. Strahler, Alan H. Strahler, 1989).

En este capítulo se estudiarán las características climáticas a nivel regional y más particularmente a nivel local en la Localidad de Río Turbio, zona de emplazamiento del proyecto.

Los análisis son llevados a cabo en base a información antecedente sobre el tema y el procesamiento de datos climatológicos de la Estación Meteorológica (DAVIS) WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio, datos suministrados por el Ejército Argentino.

#### **1.1.1 Climatología Regional**

América del Sur se caracteriza por la presencia de vientos predominantes del sector oeste, principalmente en las latitudes del sur del continente. Posee dos centros anticiclónicos localizados al sur de los Océanos Pacífico y Atlántico y una zona de convergencia intertropical diferenciada del cinturón de baja presión localizado cerca del Ecuador (Cervený, 1998).

Según la clasificación de los climas presentada por Arthur N. Strahler 1978, América del sur posee distintos tipos de clima por región, distribuidos entre el Grupo 1 correspondientes a los climas de bajas latitudes y el Grupo 2, correspondiente a climas de latitudes medias.

En la siguiente Figura 1 se puede observar la clasificación por grupo del clima para América del Sur y las sub clasificaciones que se presentan en cada uno de los grupos. En la misma se observa que la caracterización climática de la Argentina se encuentra enmarcada en el Grupo 2, climas de latitudes medias, variando de norte a sur del país desde clima seco subtropical a clima seco de latitudes medias atravesando zonas con características mas húmedas.

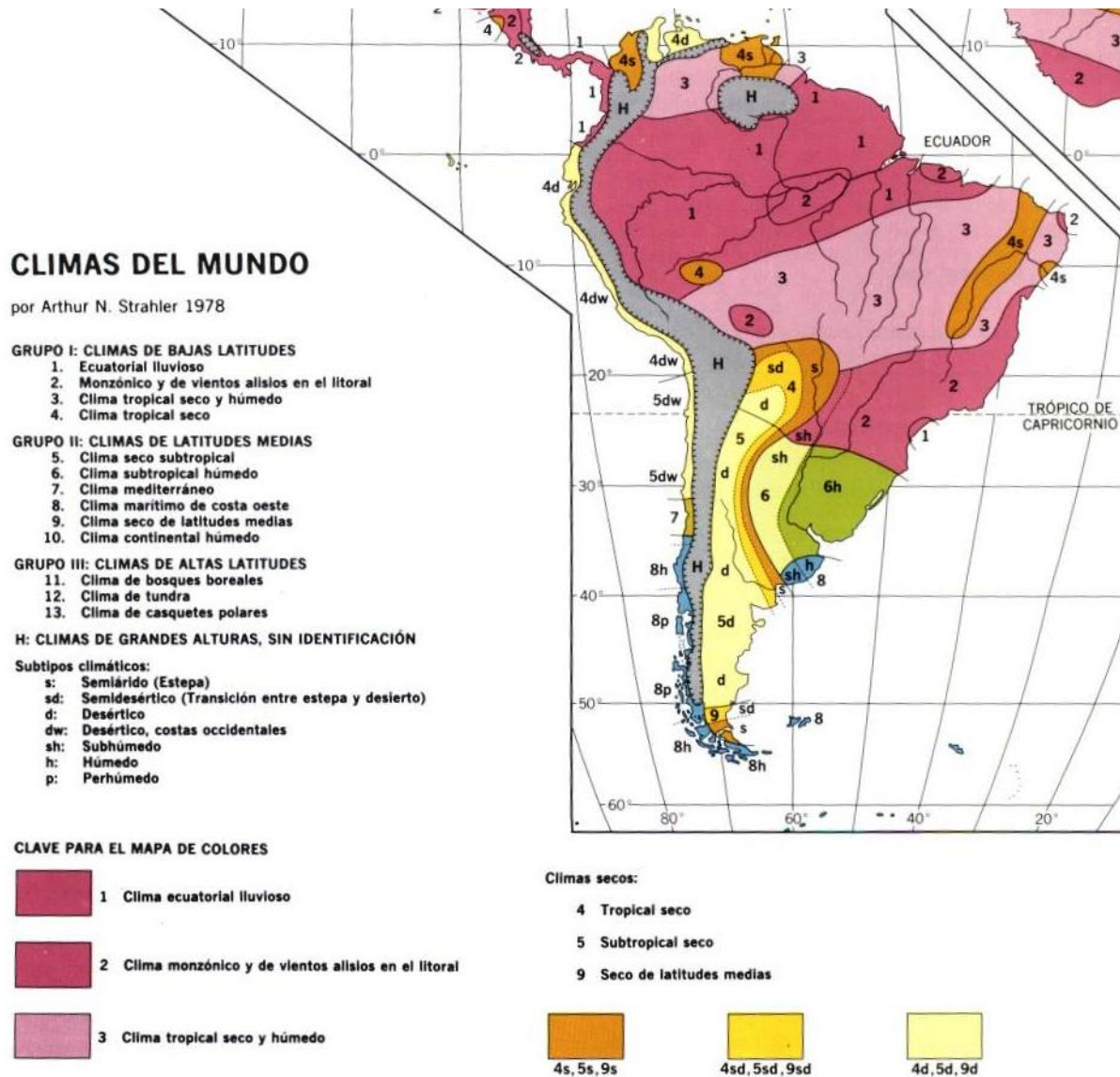
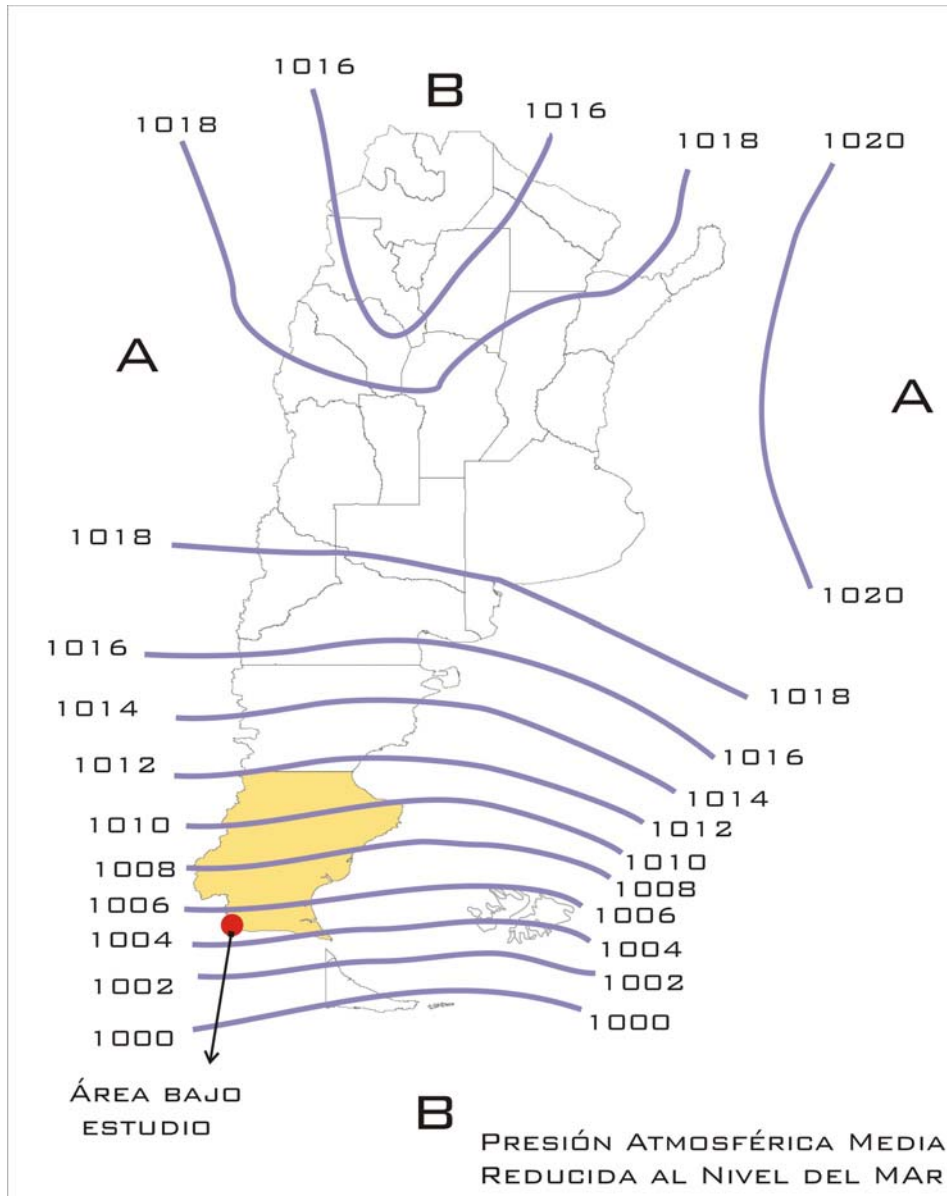


Figura 1. Clasificación del clima para América del Sur según Arthur N. Strahler, 1978.

La región patagónica está situada en la parte sur del sistema semi-permanente anticiclónico subtropical, cuya influencia directa se extiende hasta aproximadamente 40°S de latitud durante todo el año y el intenso centro sub-polar de baja presión que está centrado casi en el Círculo Polar Antártico.

En base a que los sistemas béricos varían poco espacialmente y presentan pocas modificaciones en sus intensidades durante el año, los vientos procedentes del sector oeste prevalecen durante todo el año. En invierno, tal como se observa en la Figura 2, las isobaras se presentan casi paralelas a las latitudes sobre los océanos, presentando una cresta muy poco pronunciada sobre el continente, de esta manera, se posibilita la conexión entre los centros de alta presión de los Océanos Pacífico y Atlántico que están ubicados casi a la misma latitud sur y cuyas intensidades son similares.

Durante los meses de verano las dos celdas anticiclónicas oceánicas se encuentran separadas del continente por una zona de baja presión. Asimismo, el anticiclón del Océano Pacífico se localiza desplazado hacia el sur (en relación con el invierno), y cerca de la costa sudamericana, mientras que el sistema de alta presión del Océano Atlántico se encuentra ubicado hacia el este, más lejos de la costa. Debido a esto, el gradiente de presión y el sistema de vientos son más pronunciados en el oeste que en el este de la Patagonia.



**Figura 2.** Presión atmosférica media, reducida al nivel del mar. Mes: julio. Fuente: EIA Central termoeléctrica Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006.

Como se expresa en el EIA del SEGEMAR –YCRT, durante los meses de invierno se presenta una circulación de vientos uniforme proveniente del oeste, mientras que en el verano se ha observado una débil componente zonal del flujo del aire superpuesta con el gradiente meridional. Este hecho contribuye a que los vientos estivales del oeste tengan una componente sur (oeste-sudoeste y sudoeste).

A 45° de latitud sur, entre las longitudes de 75°W y 65°W, el gradiente zonal de presión es 6hPa/400km en enero, y prácticamente nulo en julio, asimismo, los vientos provenientes del norte y del este se presentan con alguna regularidad sólo durante el invierno y la primavera.

#### 1.1.1.1 Velocidad del Viento

En las distribuciones de las frecuencias anuales de la dirección del viento se observa que los vientos procedentes del oeste totalizan entre el 50% y el 70% de todas las observaciones (incluidas las calmas). En las frecuencias de vientos de esta dirección se observa una variación anual originada por el leve desplazamiento estacional del sistema anticiclónico localizado en el Océano Pacífico.

Los vientos provenientes del sector oeste en la Región están caracterizados por su predominancia durante todo el año y su velocidad suele ser alta. El viento geostrofico de casi 7.0 m/s, corresponde al gradiente bórico que se presenta en la franja ubicada entre 40°S y 60°S a 75°W. (EIA del SEGEMAR –YCRT, 2006)

Estas condiciones proyectan vientos de 8m/s en el sur de la Patagonia, ese gradiente meridional de presión y las velocidades de viento resultantes producen cambios temporarios que son causados por la variación anual en la intensidad y extensión de los sistemas anticiclónicos de los Océanos Pacífico y Atlántico.

Entre octubre y febrero, en toda la Patagonia se presentan velocidades medias mensuales de vientos mayores que el valor medio anual. Entre octubre y marzo las velocidades del viento en la costa son menores que en el continente. Esta relación se invierte en los otros meses.

En invierno, el valor medio mensual de la velocidad del viento es sustancialmente menor en el interior del continente que en la costa, excepto en algunos puertos protegidos orográficamente (como los Puertos de Santa Cruz y Ushuaia). Esto se debe a las altas frecuencias de calmas generadas por las intensas inversiones térmicas nocturnas que ocurren en la Patagonia central.

Particularmente en la provincia de Santa Cruz, se observa un fuerte viento que favorece la evaporación en un contexto de escasas precipitaciones y actúa como un importante factor erosivo ante las alteraciones de la frágil cubierta vegetal.

Las direcciones prevalecientes en la provincia son del Oeste, Sudoeste y Noroeste que en conjunto suman en general alrededor más del 60% del tiempo. En el Norte de la provincia hay una mayor frecuencia de viento Noroeste que Sudoeste, mientras que en el Sur ocurre lo inverso.

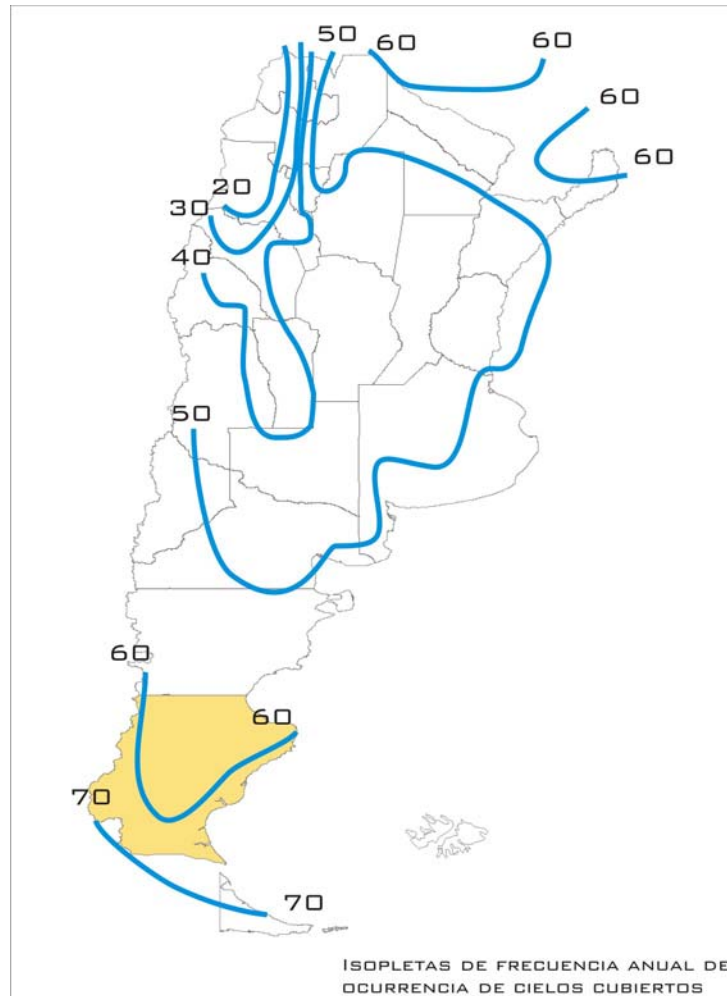
#### 1.1.1.2 Nubosidad

La provincia de Santa Cruz se caracteriza por su elevada nubosidad, el porcentaje medio de cielo cubierto va desde el 50% en el Norte al 60% en el Sur de la provincia y la mayor parte de la nubosidad es de tipo medio y alto, asociada a fenómenos de escala sinóptica, esto es, de miles de kilómetros de extensión.

No obstante, el ciclo anual de la nubosidad es distinto en distintas zonas, o sea, la nubosidad es mayor en verano en la zona sur, no presentando variaciones significativas en el norte de la provincia y este comportamiento es bastante homogéneo, presentándose en forma similar tanto en la zona andina como en la meseta y en la costa.

Las horas de heliofanía (horas de sol), están condicionadas por la nubosidad, pero además por la latitud y la declinación del sol, disminuyendo con la latitud, especialmente en invierno.

En la Figura 3 se presentan las isopletas de la frecuencia anual de ocurrencia de cielos cubiertos en la República Argentina. En la meseta patagónica se observa una zona caracterizada por menos frecuencias de ocurrencia de días con nubosidad.



**Figura 3.** Isopletas de frecuencia anual de ocurrencia de cielos cubiertos en la República Argentina.

### 1.1.1.3 Temperatura del aire

Para la región en estudio, en los meses de verano el gradiente térmico meridional varía entre 40° y 60° de latitud sur, desde 8°C a 10°C cada 10° de latitud. En invierno, esta variación se encuentra entre 4°C y 7°C por 10° de latitud.

Las isotermas en enero presentan una “lengua” de alta temperatura a lo largo del eje longitudinal del continente hasta el sur de la Patagonia, que está distorsionada por la presencia de la Cordillera de los Andes. El doblez de las isotermas hacia el norte en verano se observa sólo al pie de los Andes, originado por el efecto topográfico y de la pendiente con dirección al Océano Atlántico de la meseta patagónica.

En la Provincia de Santa Cruz, la temperatura media anual se estima en entre 7,5 y 6°C en la mayor parte del área, aunque valores inferiores a 5°C y hasta debajo de 0°C deben esperarse en las zonas altas de la cordillera en la temperatura media anual de acuerdo con el gradiente vertical de temperatura propio de la latitud y las alturas de la cordillera.

En el mes de julio, las isotermas presentan una distribución más regular que las de enero y, en general, se disponen en dirección noroeste-sudeste. Por otra parte, a lo largo de la costa, las isotermas se doblan directamente hacia el sur, indicando el marcado contraste entre el continente frío y el mar relativamente caliente.

#### 1.1.1.4 Humedad Atmosférica

La tensión de vapor media anual es muy baja en toda el área y es siempre mayor en verano siendo la amplitud de la onda anual de 2 hPa. En la humedad relativa media anual hay cierta variabilidad espacial como consecuencia de la menor temperatura en las localidades más elevadas. En invierno la variabilidad espacial es menor. En toda el área sin excepción, la humedad relativa es menor en verano por las mayores temperaturas. En general, la amplitud anual se estima en un 25% en humedad relativa.

#### 1.1.1.5 Precipitación

Se presenta una región árida y seca que domina el centro de la Patagonia con precipitaciones anuales entre 100 y 200 mm. Los gradientes de precipitación más grandes se encuentran en los Andes patagónicos sureños donde la lluvia anual aumenta aproximadamente seis veces en una distancia horizontal de 50km en dirección este-oeste.

Durante el curso del año, la distribución de la precipitación depende principalmente de la predominancia de las correspondientes masas de aire. Los vientos del sector este y las inusuales lluvias en la Patagonia norte son causados por anticiclones de bloqueo que ocurren en altas latitudes y al oeste del Océano Atlántico sur (Grandoso y Núñez, 1955).

Por lo tanto, el interior de la Patagonia es seco y en una banda longitudinal comprendida entre 62°W y 70°W de longitud, se observa una precipitación media mensual menor que 20 mm.

En la zona andina, la distribución de la precipitación se extiende hasta 35°S y abarca hacia el norte hasta 27°S, debido a que gran parte del vapor de agua es precipitado en forma líquida cuando las masas de aire húmedo procedentes del oeste cruzan los Andes, las montañas tienen lluvias que alcanzan y algunas veces superan los 3000 mm (Schwerdtfeger, 1958).

### 1.1.2 Climatología de la Zona de Río Turbio

En líneas generales, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, que presenta cinco zonas climáticas subdivididas en once tipos fundamentales de climas, la zona de Río Turbio corresponde el clima templado húmedo (Bw), este tipo climático está definido como clima seco y húmedo con inviernos fríos.



Para la realización de la caracterización climática de la zona de Río turbio se tuvieron en cuenta los siguientes estudios antecedentes y datos:

1. Estudio de Impacto Ambiental de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. En este estudio se realizó un análisis de las condiciones climáticas de la atmósfera de la zona de Río Turbio basado en información meteorológica y climatológica procedente de los siguientes trabajos: Servicio Meteorológico Nacional (1958a,b, 1960, 1962, 1969, 1977, 1981, 1986, 1992, 2004). Estos boletines representan la totalidad del período 1901 – 2000. Por otro lado, información de la Organización Meteorológica Mundial-UNESCO (1975), valores de variables meteorológicas correspondientes a algunas horas medidas en el Aeropuerto de 28 de noviembre e información extraída de Prohaska (1976). Los datos climáticos pertenecientes a otras localidades fueron analizados e interpolados, obteniéndose valores representativos de la zona de Río Turbio. En el caso de que para una variable meteorológica se contara con diferentes valores obtenidos de distintas fuentes bibliográficas utilizando diferentes procedimientos, se procedió a realizar el promedio ponderado correspondiente.
2. Datos climatológicos de los últimos 8 años en Río Turbio (período 2001 – 2008), tomados mediante la Estación Meteorológica de Río Turbio y suministrados por el Ejército Argentino. Los datos suministrados han sido tomados por la estación minuto a minuto y cubren los siguientes períodos (observar que los años 2001, 2007 y 2008 están incompletos):
  - Año 2001 (30/07/2001 - 20/09/2001)
  - Año 2002 (01/01/2002 - 31/12/2002)
  - Año 2003 (01/01/2003 - 26/12/2003)
  - Año 2004 (04/01/2004 - 31/12/2004)
  - Año 2005 (01/01/2005 - 31/12/2005)
  - Año 2006 (01/01/2006 - 31/12/2006)
  - Año 2007 (01/01/2007 - 18/02/2007)
  - Año 2008 (01/01/2008 - 23/04/2008)

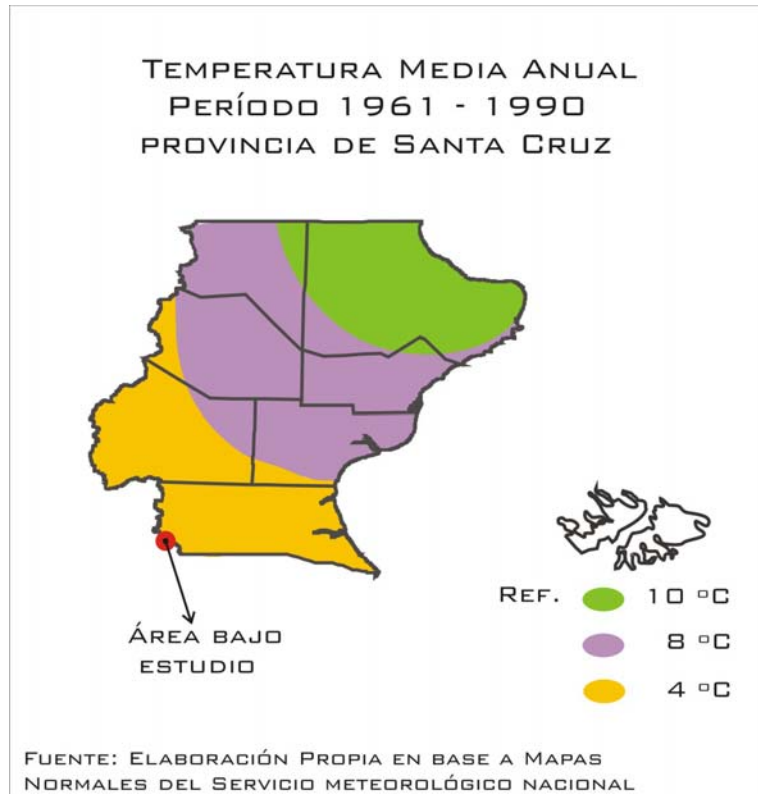
Respecto de la estación meteorológica, la misma es una Estación DAVIS WEATHERLINK 4.04 y sus sensores (sensor de humedad, sensor de temperatura, barómetro, pluviómetro, anemómetro, veleta) se encuentran a una altura de 4.5 metros. A continuación en la Figura 4 se puede observar la ubicación geográfica de la misma en la Localidad de Río Turbio.



**Figura 4.** Ubicación de la Estación Meteorológica DAVID WEATHERLINK 4.04 en Río Turbio.

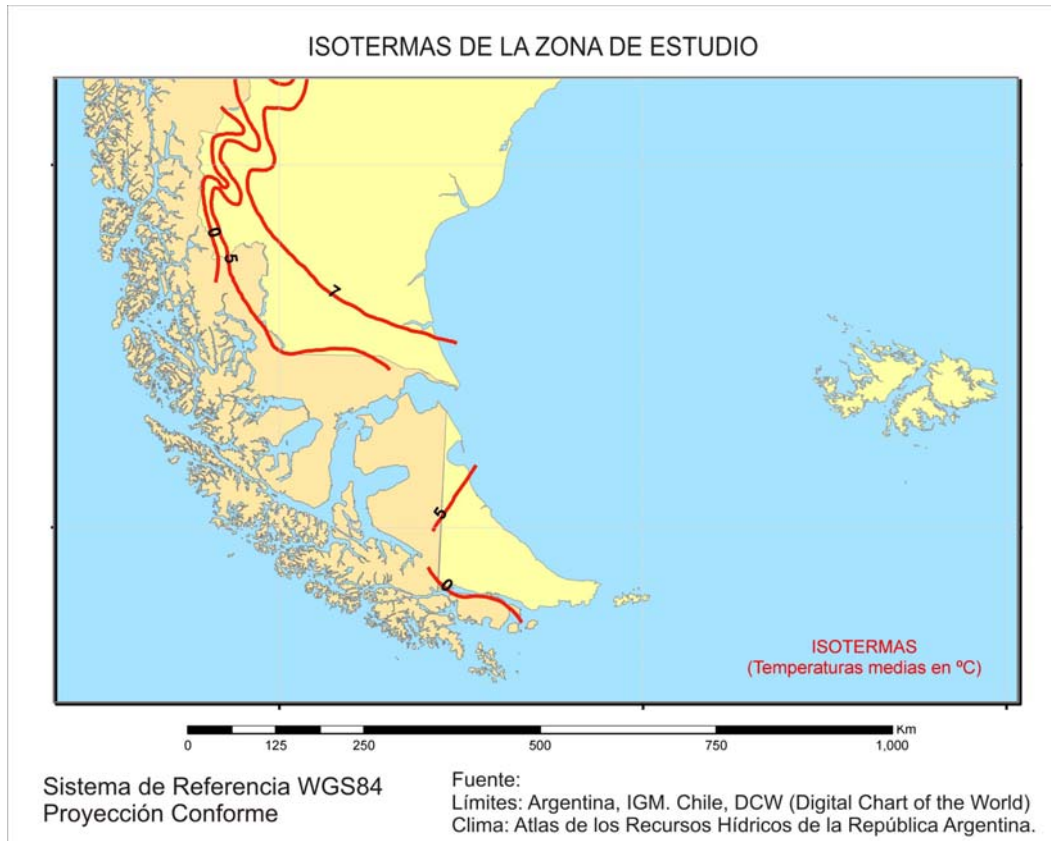
#### 1.1.2.1 Temperatura del Aire

En la Figura 5 que se presenta a continuación se puede observar la temperatura media anual que se presenta en el Servicio Meteorológico Nacional para el período 1961 – 1990 expresada en °C. Como se observa, la temperatura rondaría los 4 °C para la zona de estudio.



**Figura 5.** Temperatura media anual para la zona de estudio. Período 1961 – 1990. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Por otro lado, en base a los datos del Atlas de los Recursos Hídricos de la República Argentina del cual se extrajeron las isotermas para la misma zona, se observa que en la zona de estudio la temperatura rondaría los 5 °C.



**Figura 6.** Temperatura media representada en isotermas de la zona de estudio.

En el estudio del SEGEMAR, los valores de la temperatura del aire utilizados como más representativos de la zona de Río Turbio, son los siguientes:

**Tabla 1.** Valores medios, máximos medios, mínimos medios, máximos absolutos y mínimos absolutos mensuales y valor anual de la temperatura del aire para Río Turbio. Período 1901 – 2000. Fuente: Estudio de Impacto Ambiental de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR – YCRT. Año 2006.

[°C]	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temperatura Media	10.7	10	8.8	6.3	2.8	1.7	1.1	1.6	4.3	6.4	7.5	9.3	5.9
Temperatura Máx. Media	16.5	15.8	14.2	11.4	6.9	5.2	4.6	5.8	9.2	12.3	13.6	15.5	10.9
Temperatura Mín. Media	5.6	4.8	3.2	0.7	-1.8	-3.3	-4.3	-3.2	-0.2	1.3	2.1	3.6	0.7
Temperatura Máx. Absoluta	31.5	25.5	25.5	22.5	21	18	15	14.5	18.5	20.5	25	25.5	31.5
Temperatura Mín Absoluta	-1.5	-2	-5	-10.5	-18	-15	-21	-27	-10	-7	-5.5	-3	-27

Por otro lado, los datos suministrados por el Ejército Nacional de la Estación Meteorológica de Río Turbio para el período 2001 – 2008 se presentan en la siguiente Tabla 2.

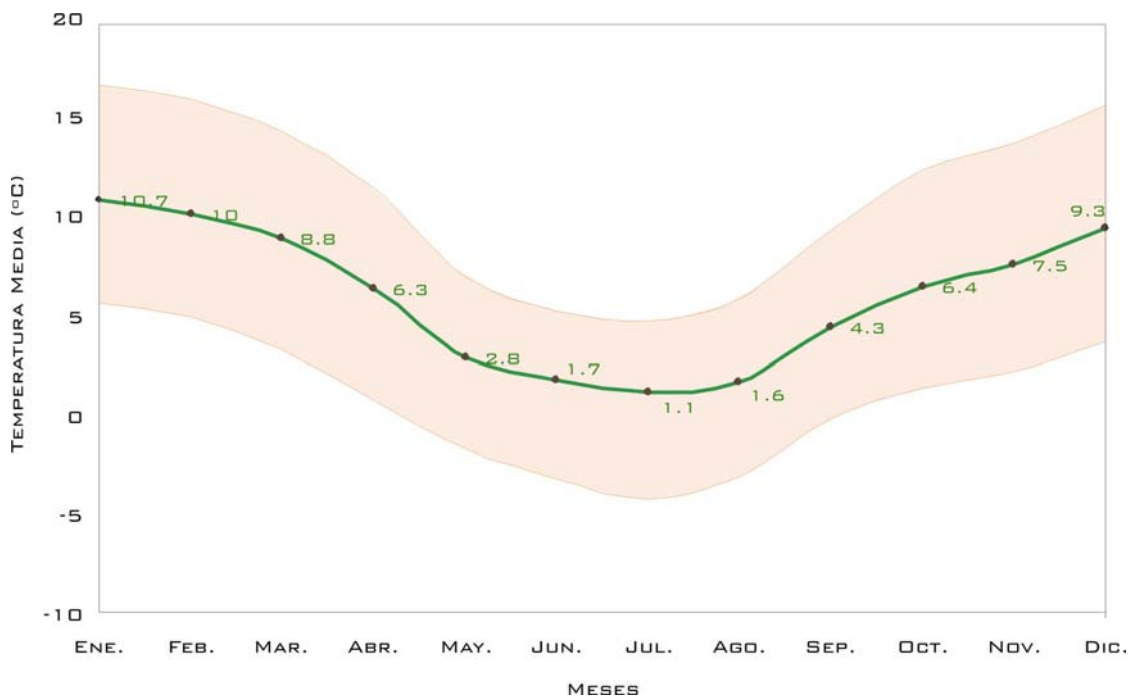
**Tabla 2.** Valores medios, máximos medios y mínimos medios mensuales y valor anual de la temperatura del aire para Río Turbio. Período 2001 – 2008. Fuente: Estación Meteorológica DAVID WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio.

[°C]	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temperatura Media	10.8	11.7	8.8	5.9	2.8	-0.5	1.1	1.9	4.4	5.9	7.9	9.5	6.5
Temperatura Máx. Media	15.5	16.7	13.2	10.2	6.6	3.0	4.7	5.6	8.5	10.6	12.6	14.2	10.6
Temperatura Mín. Media	5.6	6.5	4.6	1.6	-1.1	-4.2	-2.9	-2.0	0.4	0.7	2.9	4.6	1.8

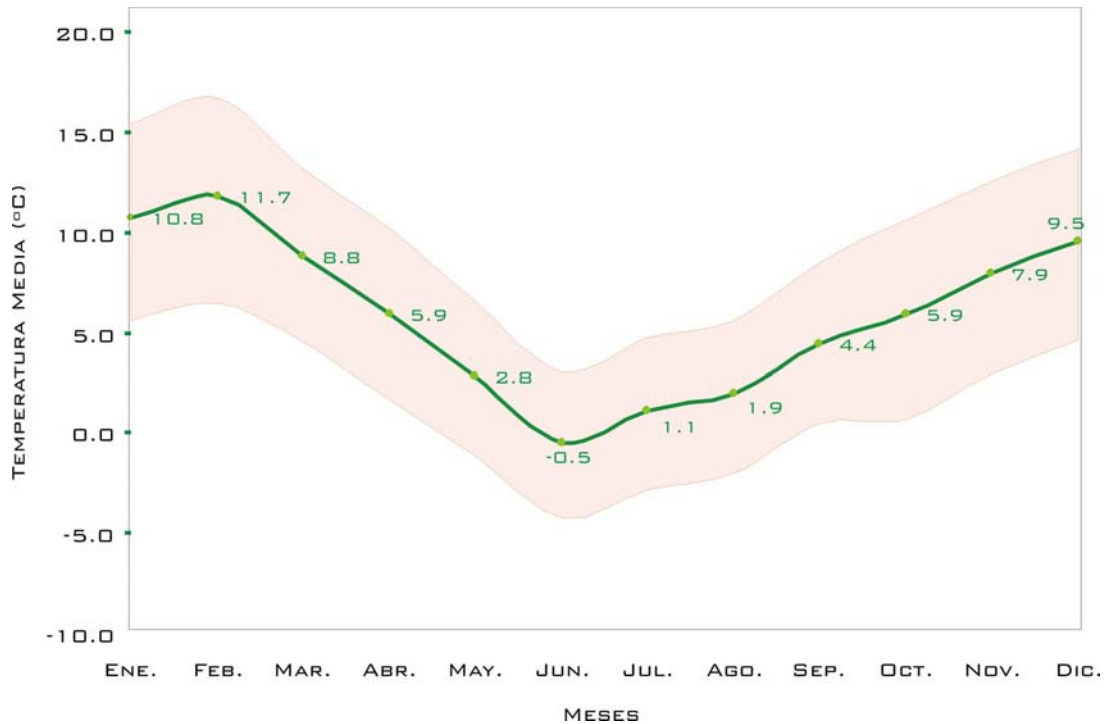
Como se puede observar, tanto la temperatura media anual que se presenta en la Tabla 1 (5.9 °C), como la temperatura media anual que se presenta en la Tabla 2 (6.5 °C) se corresponden con los datos del SMN como con las isotermas presentadas en la Figura 6 encontrándose aproximadamente en los 5 °C.

En base a los datos del estudio del SEGEMAR –YCRT observados en la Tabla 1, se ha elaborado la Figura 7 en la cual se presenta la marcha mensual de la temperatura media. En la misma se observa que la temperatura media del mes de enero se encuentra en el entorno de los 11°C, siendo este el mes más calido, luego la temperatura decrece gradualmente hasta alcanzar las menores temperaturas medias en el mes de julio, encontrándose en el entorno de 1°C, y finalmente vuelve a elevarse hasta los 9.3 °C en el mes de diciembre.

Luego, en la Figura 8 se presenta la marcha media mensual de temperatura para el período 2001 – 2008.



**Figura 7.** Marcha Media Mensual de la Temperatura. Fuente EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

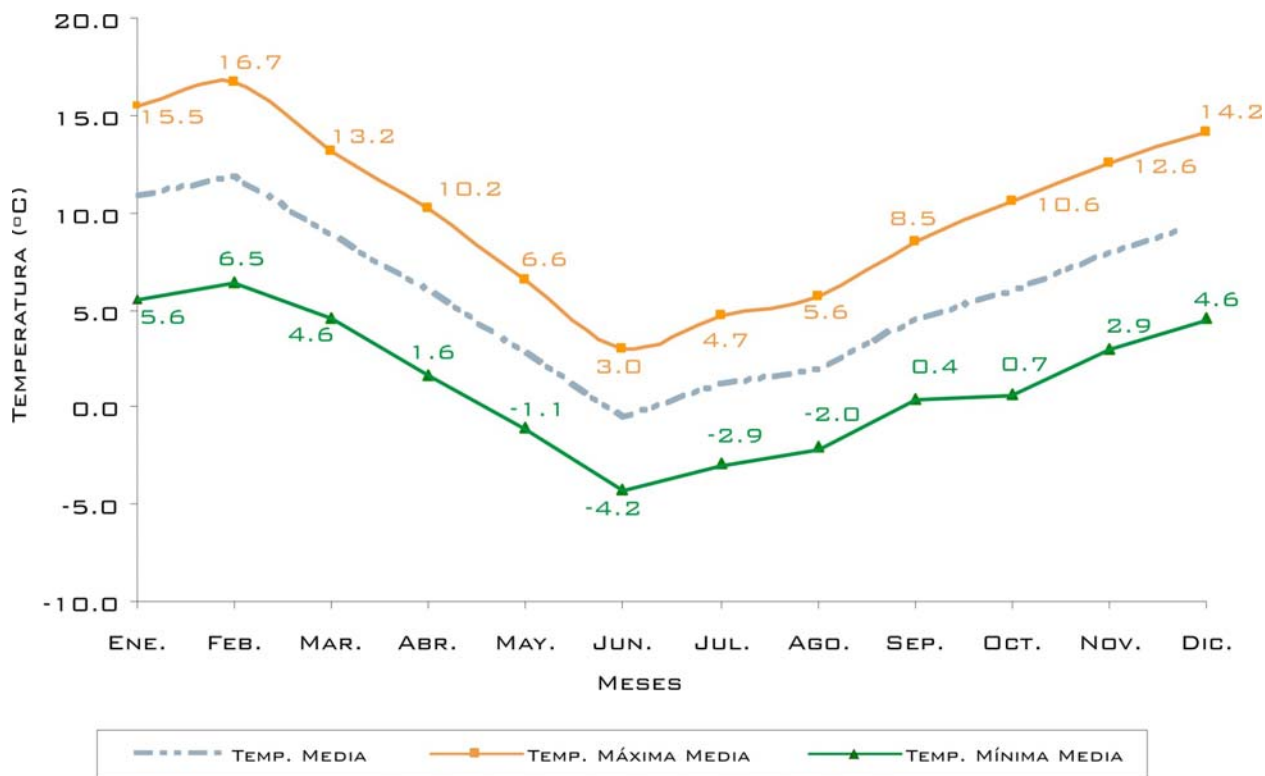


**Figura 8.** Marcha Media Mensual de la Temperatura. Fuente Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.

Como se observa en las figuras anteriores, las temperaturas medias no han variado significativamente en el último período de 8 años, se observa una disminución en el mes de junio para el último período, sin embargo, en líneas generales la marcha mensual de temperaturas se mantiene en los mismos valores.

En la siguiente Figura 9 se puede observar la marcha mensual para el período 2001 – 2008 de la temperatura máxima media y mínima media. Los valores mínimos medios se encuentran en un rango de 6 °C a -5 °C encontrándose los mayores en los meses de diciembre a marzo y los menores (valores bajo cero) de mayo a agosto.

Los valores de temperaturas máximas medias se encuentran en un rango de 17 °C a 3°C y obedecen los mismos períodos que para las temperaturas mínimas medias.

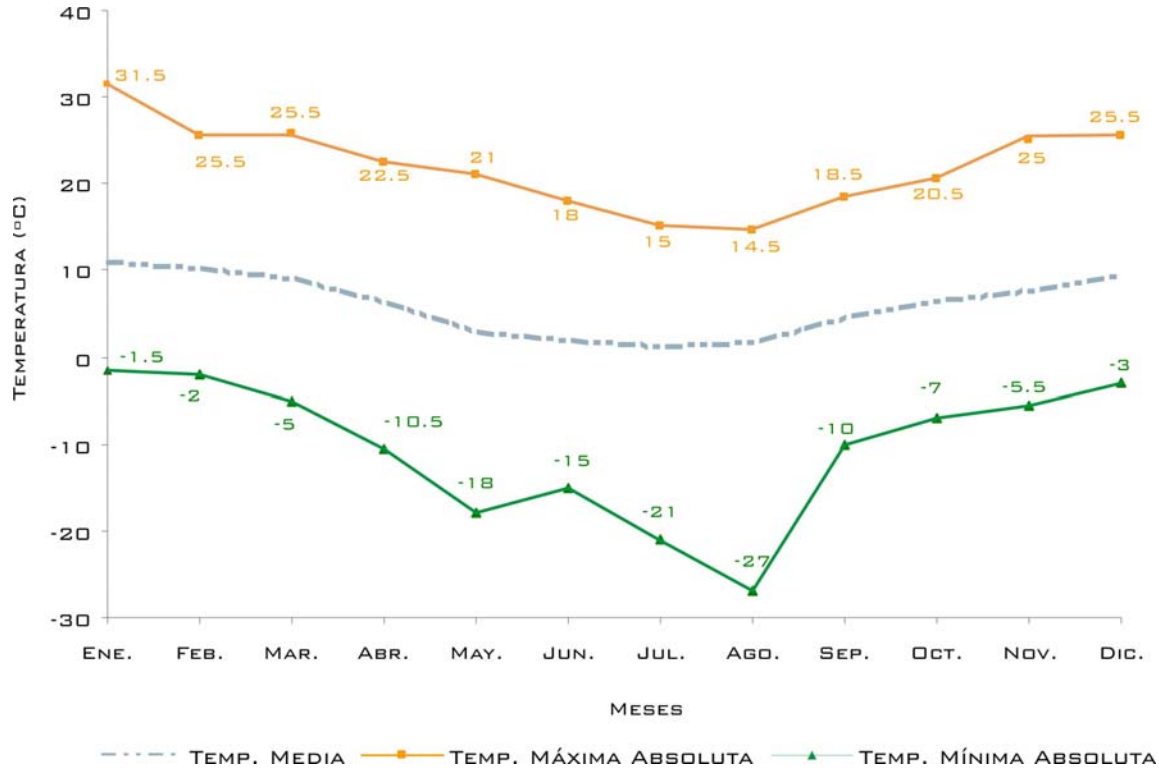


**Figura 9.** Marcha Máxima y Mínima Media Mensual de la Temperatura. Fuente Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.

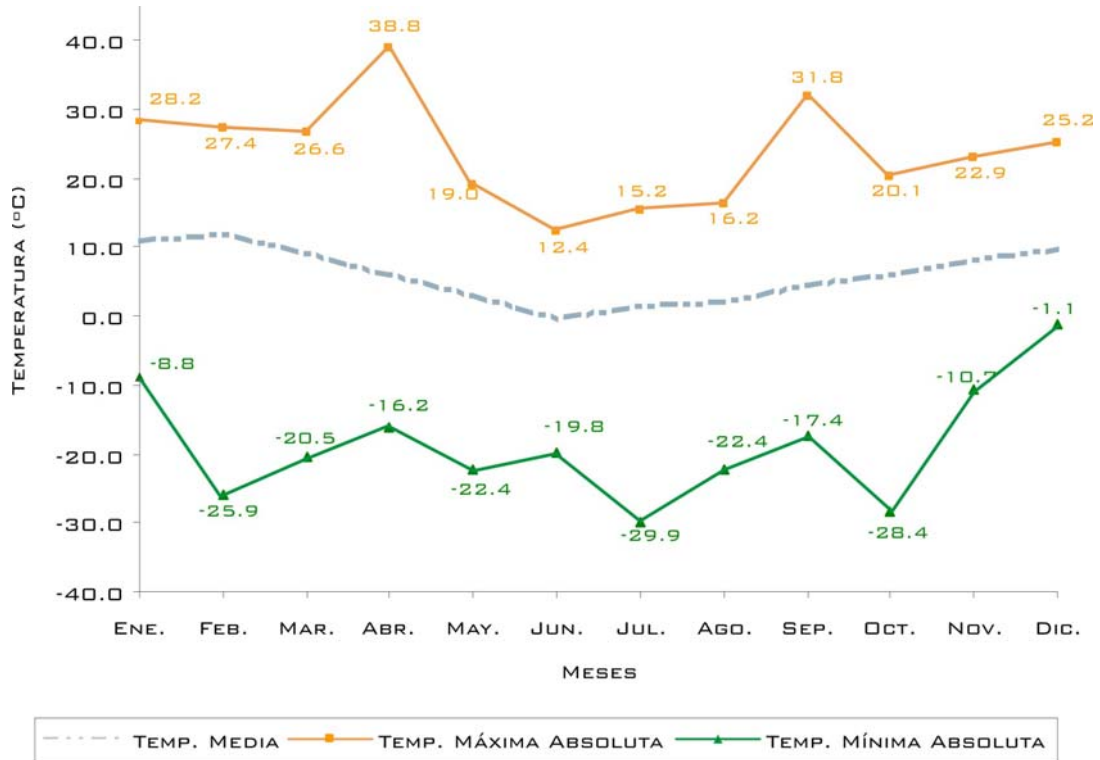
Las temperaturas máxima y mínima absolutas se presentan en la Figura 10 para el período 1901 – 2000, destacándose que las temperaturas mínimas absolutas de todo el año alcanzan valores bajo cero (negativos). La menor temperatura absoluta corresponde al mes de agosto con un valor de  $-27^{\circ}\text{C}$ , mientras que las temperaturas máximas absolutas, alcanzan valores máximos en el mes de enero, siendo  $31.5^{\circ}\text{C}$  la mayor temperatura absoluta registrada para el período.

En la Figura 11 se presenta la marcha mensual de temperaturas mínimas y máximas absolutas para el período 2001 – 2008, observándose valores similares al período anterior analizado pero con temperaturas máximas extremas más elevadas y mínimas extremas menores. La temperatura mínima absoluta se alcanza en el mes de julio con  $-29.9^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura máxima absoluta se alcanza en el mes de abril con  $37.9^{\circ}\text{C}$ .

Las diferencias que se manifiestan de la comparación del último período tendrán sentido en cuanto a la diferencia en la cantidad de años considerados en cada período analizado.



**Figura 10.** Marcha Mensual de la Temperatura Máxima y Mínima Extrema. Fuente EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.



**Figura 11.** Marcha Mensual de la Temperatura Máxima y Mínima Extrema. Fuente Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.



### 1.1.2.2 Humedad atmosférica

A continuación en la Tabla 3 se presentan los valores recogidos del estudio del SEGEMAR – YCRT, respecto de la humedad relativa para el período 1901 – 2000. Los mismos valores para el período 2001 – 2008 se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Humedad relativa en porcentaje para la zona de Río Turbio. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

[%]	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Humedad Relativa EIA SEGEMAR - YCRT	65	67	69	74	81	82	83	72	74	69	68	66	73

**Tabla 4.** Humedad relativa en porcentaje para la zona de Río Turbio. Fuente Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.

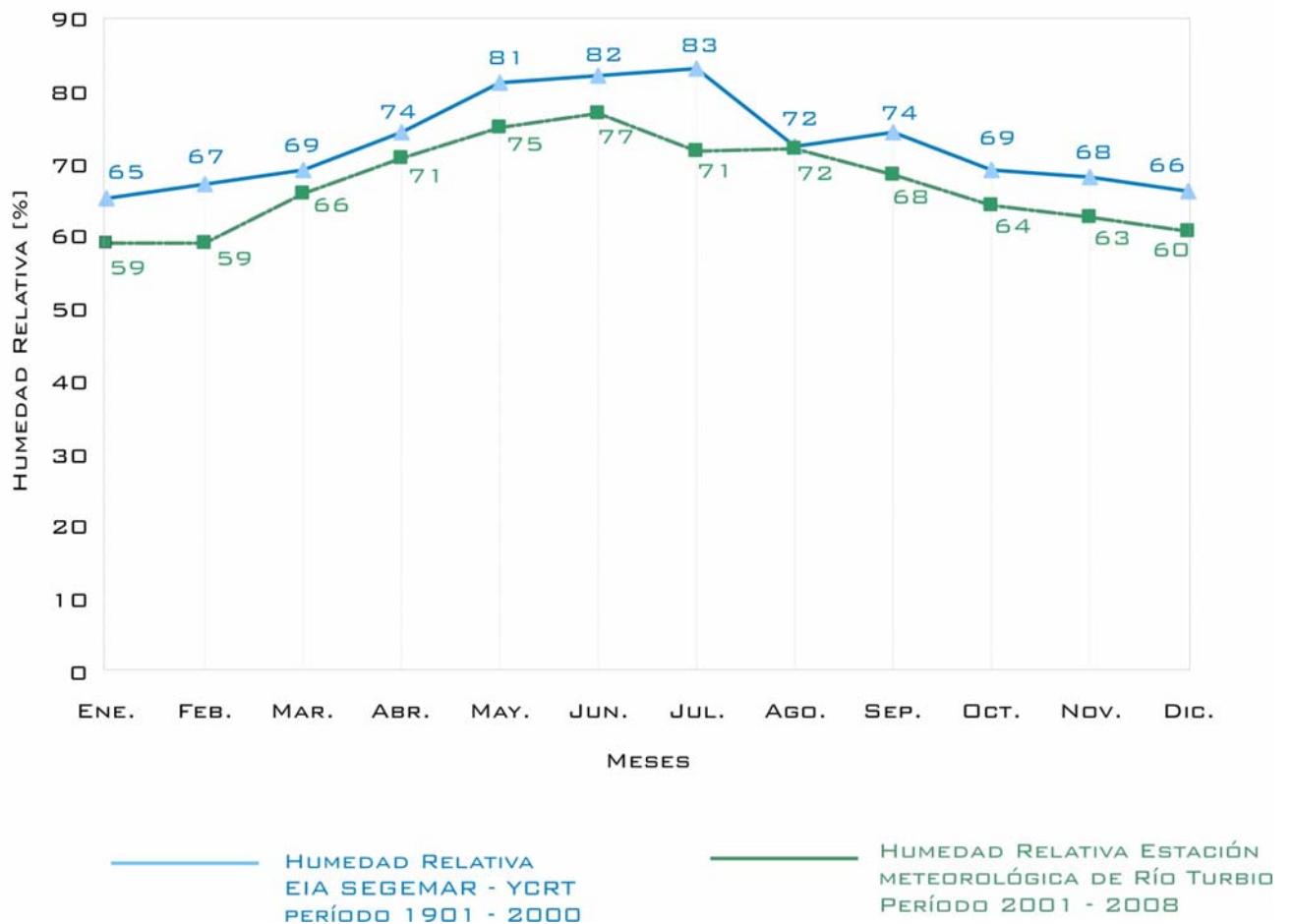
[%]	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Humedad Relativa Estación Meteorológica de Río Turbio	59	59	66	71	75	77	71	72	68	64	63	60	66

Como es de esperarse, en los meses más cálidos se alcanza la menor humedad relativa en la zona para ambos períodos. Esto se debe a que la temperatura en estos meses es mayor y, en consecuencia, el aire ambiente posee una menor cantidad de vapor de agua.

Durante el otoño los contenidos de humedad atmosférica se van elevando, hasta alcanzar su valor máximo en el invierno, más específicamente en el mes de julio para el primer período analizado, y en el mes de junio para el segundo período analizado.

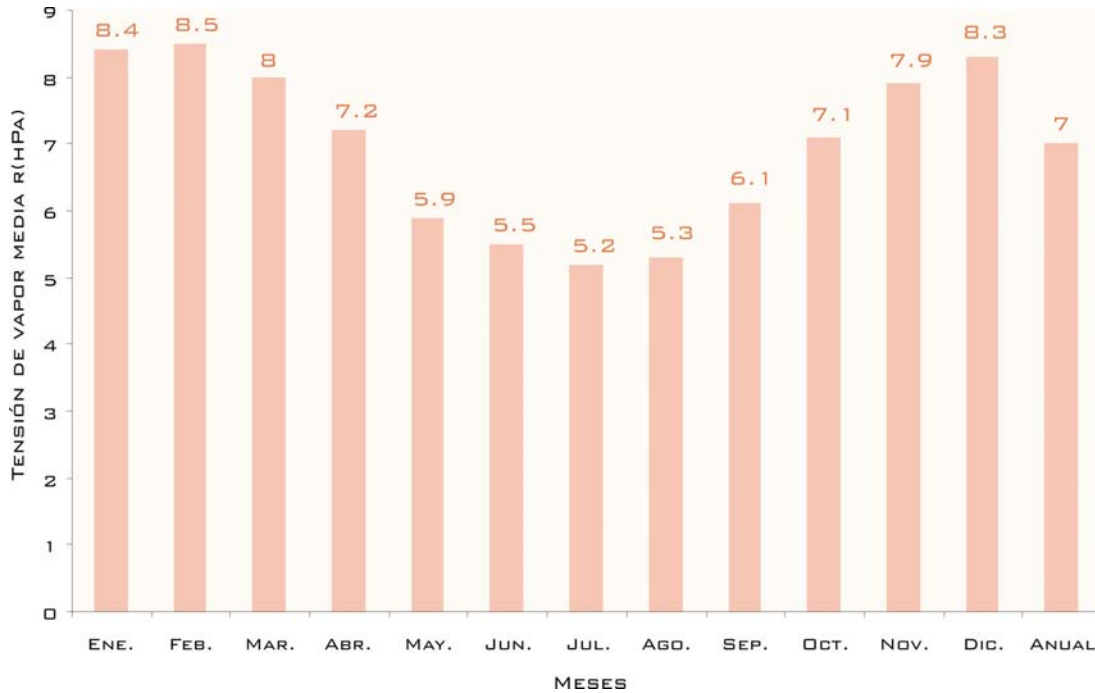
Finalmente en la primavera se registra una disminución de la humedad, hasta nuevamente alcanzar el valor más bajo en el verano.

Asimismo, la amplitud anual de la humedad relativa media mensual es de 18% para el período 1901 – 2000 y para el período 2001 – 2008. A continuación se presenta en la Figura 12 un gráfico comparativo de la humedad relativa para los períodos anteriormente analizados.



**Figura 12.** Variación anual de los valores medios mensuales de la humedad relativa del aire para los períodos 1901 – 2000 y 2001 – 2008. Fuentes: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006 y Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio.

En la Figura 13 se grafica la variación anual de los valores medios mensuales de la tensión de vapor en base a los datos extraídos del estudio del SEGEMAR – YCRT, estimados para la zona.



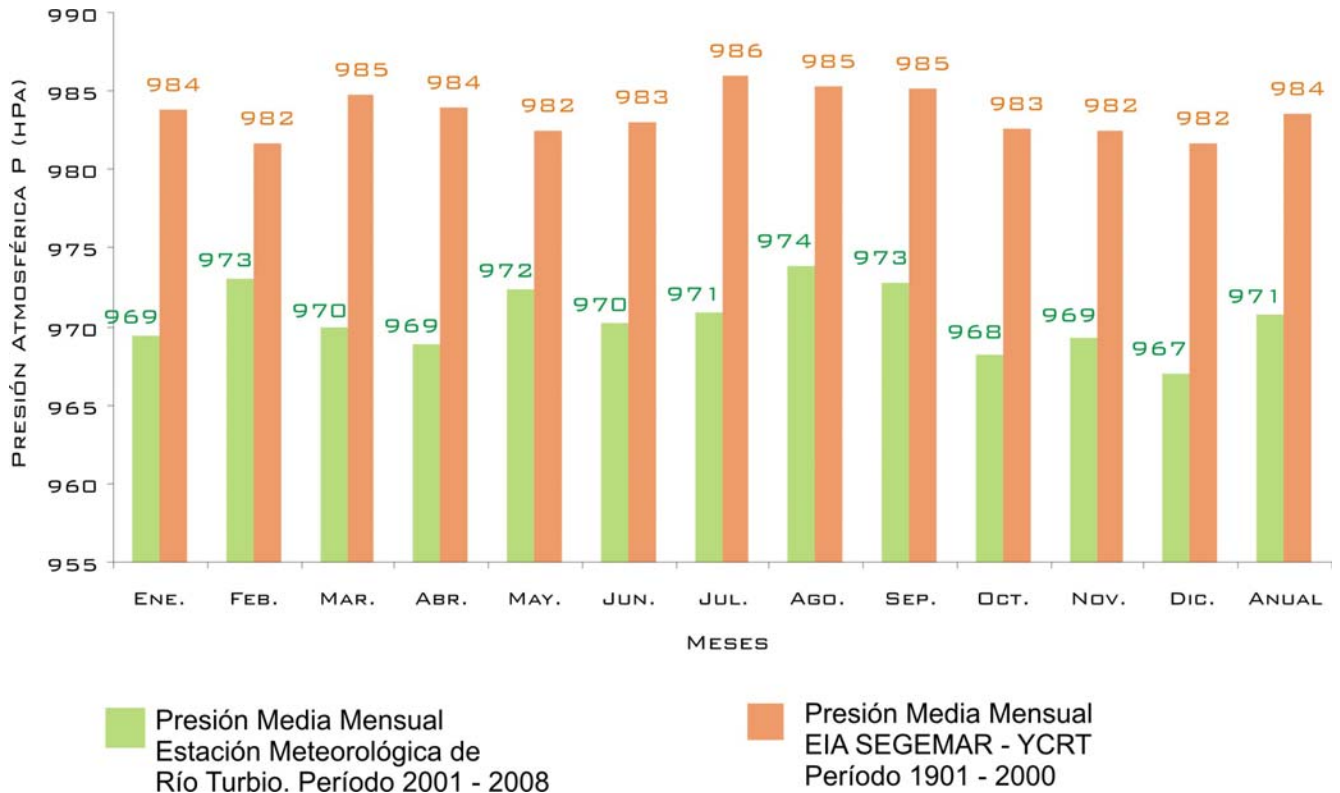
**Figura 13.** Variación anual de los valores medios mensuales de la tensión de vapor (hPa). Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

Los mayores valores medios mensuales de la tensión de vapor se presentan durante los meses de verano y los menores en el invierno. El valor más alto corresponde al mes de febrero con 8.5 hPa y el más bajo al mes de julio con 5.2 hPa.

Por otro lado, el promedio anual de la tensión de vapor es de 7.0 hPa y la amplitud anual de la tensión de vapor media mensual en la zona es 3.3 hPa.

### 1.1.2.3 Presión Atmosférica

La presión atmosférica a nivel del suelo depende de las condiciones generales de la atmósfera y de la altura de la estación meteorológica sobre el nivel del mar. En la Figura 14 se pueden observar los valores medios mensuales y el valor anual de la presión atmosférica a nivel del suelo en la zona para los dos períodos de tiempo que se están analizando.



**Figura 14.** Variación anual de los valores medios mensuales de la presión atmosférica (P) a nivel del suelo para los períodos 1901 – 2000 y 2001 – 2008. Fuentes: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006 y Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio.

Los valores medios mensuales de la presión atmosférica a nivel del suelo presentan un máximo en el mes de julio con 986.0 hPa en el período 1901 – 2000 y de 974 hPa en el mes de agosto para el período 2001 – 2008.

Asimismo, el mínimo se presenta en el mes de febrero con 981.6 hPa t 967 hPa en el mes de diciembre para los mismos períodos de tiempo. Los valores medios anuales son de 983.6 y 971 hPa respectivamente. A continuación, en la Figura 14 se presentan los valores de presión media mensual anteriormente expuestos.

#### 1.1.2.4 Nubosidad

Para la estimación de la nubosidad en la zona de estudio solo se cuenta con los datos presentados en el estudio del SEGEMAR – YCRT, en este informe los valores medios mensuales de nubosidad total se presentan en escala de 0 a 10 décimos de cielo cubierto. Los datos se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Nubosidad Media para la zona de Río Turbio. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

Nubosidad Media. Escala de 0 a 10 décimos cielo cubierto. EIA SEGEMAR - YCRT	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
	6.6	6.8	6.7	6.3	5.5	5.4	5.2	5.3	6.0	6.2	6.9	7.1	6.2

Los mayores valores medios mensuales estimados a partir de las observaciones ocurren en el verano y los menores en el invierno. Como se puede observar en la Figura 15, el valor medio mensual máximo se presenta en el mes de diciembre con una nubosidad media de 7.1 y el menor en julio con una nubosidad media de 5.2. Asimismo, el promedio anual de nubosidad media es de 6.2.



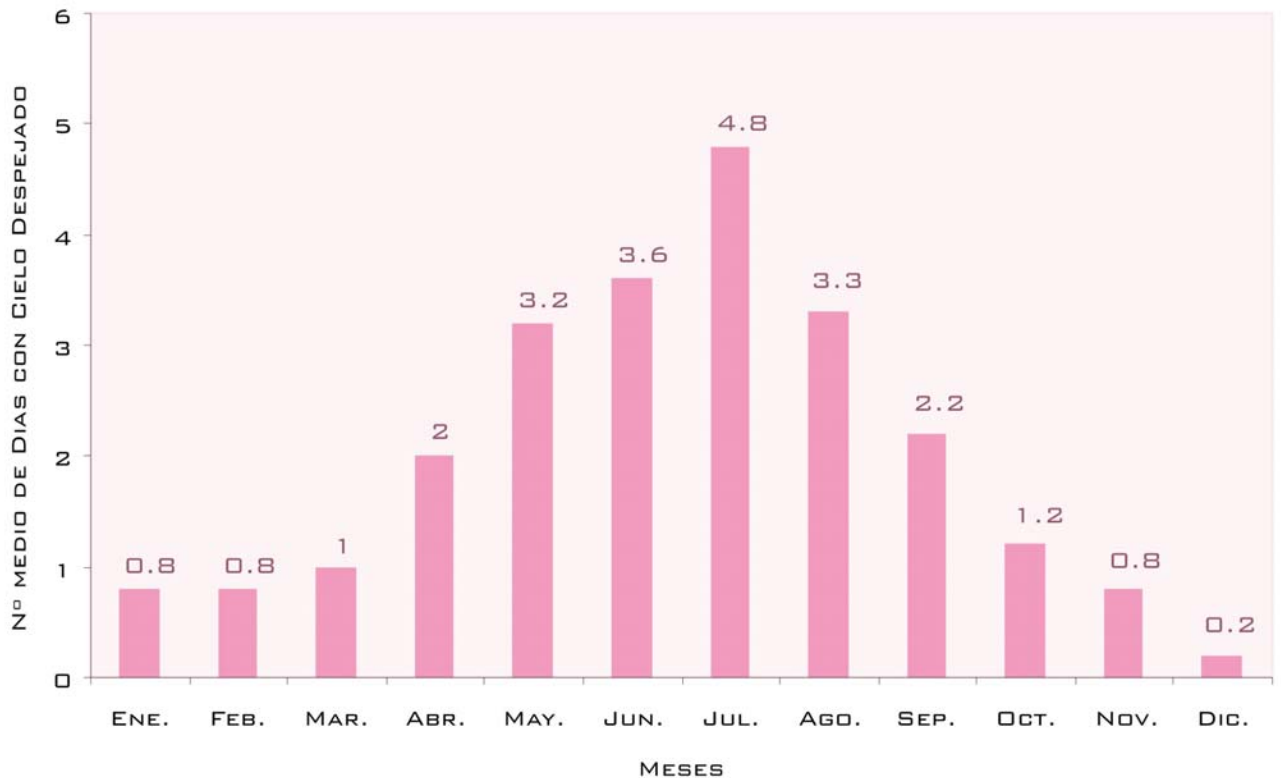
**Figura 15.** Marcha mensual de los valores medios mensuales de nubosidad (escala 0-10) en la zona. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR – YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

En la Tabla 6 y su correspondiente Figura 16, se presenta el número medio de días con cielo despejado en la zona, encontrándose los mayores valores de este parámetro en el período invernal y los menores en los meses más cálidos de verano.

**Tabla 6.** Frecuencia Media de días con cielo claro para la zona de Río Turbio. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR – YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

Frecuencia Media días con cielo claro. EIA SEGEMAR - YCRT	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agó.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
	0.8	0.8	1	2	3.2	3.6	4.8	3.3	2.2	1.2	0.8	0.2	23.8

El mayor valor del número medio mensual de días con cielo despejado ocurre en julio con casi 1/6 de los días del mes con cielo despejado, y el menor valor corresponde a diciembre con sólo aproximadamente 5 horas de cielo despejado. En el año en promedio se presenta sólo el 6.5% de los días con cielo claro.



**Figura 16.** Variación anual del número medio mensual de días con cielo despejado en la zona. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

En la Figura 17 se presenta la variación anual del número medio mensual de días con cielo cubierto. Como es de esperarse, existe una relación directa entre la cantidad de días con cielo cubierto y la nubosidad, por lo tanto, en la época más cálida en la que hay mayor nubosidad, mayor es el número de días con cielo cubierto y, consecuentemente, disminuye el número medio mensual de días con cielo despejado. La situación inversa se presenta en invierno.



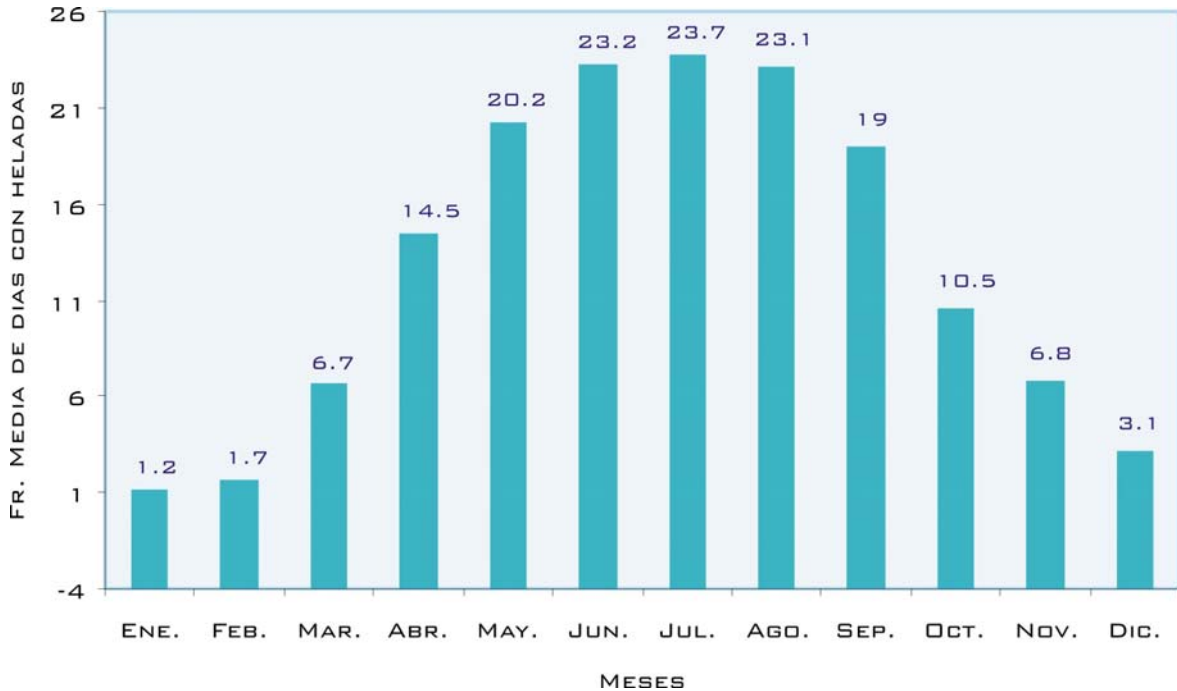
**Figura 17.** Variación anual del número medio mensual de días con cielo cubierto en la zona. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

#### 1.1.2.5 Heladas

En el presente informe se considera la ocurrencia de helada cuando la temperatura del aire medida en el abrigo meteorológico a 1.5 m de altura sobre el suelo sea igual o descienda por debajo de 0°C.

Como puede observarse en la Figura 18, en la cual se ha graficado la variación anual del número medio mensual de días con ocurrencia de heladas en la zona, el número medio mensual de días con heladas aumenta en la estación invernal o sea en el período de bajas temperaturas, tal como es de esperarse.

El valor máximo medio de la cantidad de días con heladas llega a 23.7 en el mes de julio, alcanzando en este mes un 77% de días con ocurrencia de heladas. En el año, estos días llegan al 42% del período.



**Figura 18.** Variación anual del número medio mensual de días con ocurrencia de heladas en la zona.  
 Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR – YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

#### 1.1.2.6 Precipitación

Los valores de precipitación media anual característicos de la zona de estudio se pueden observar en la Figura 20 , en donde se han graficado las isohietas que se presentan en el Atlas de los Recursos Hídricos de la República Argentina. Según las mismas, la precipitación media anual en la zona de emplazamiento del proyecto se encontraría aproximadamente en los 500 mm.

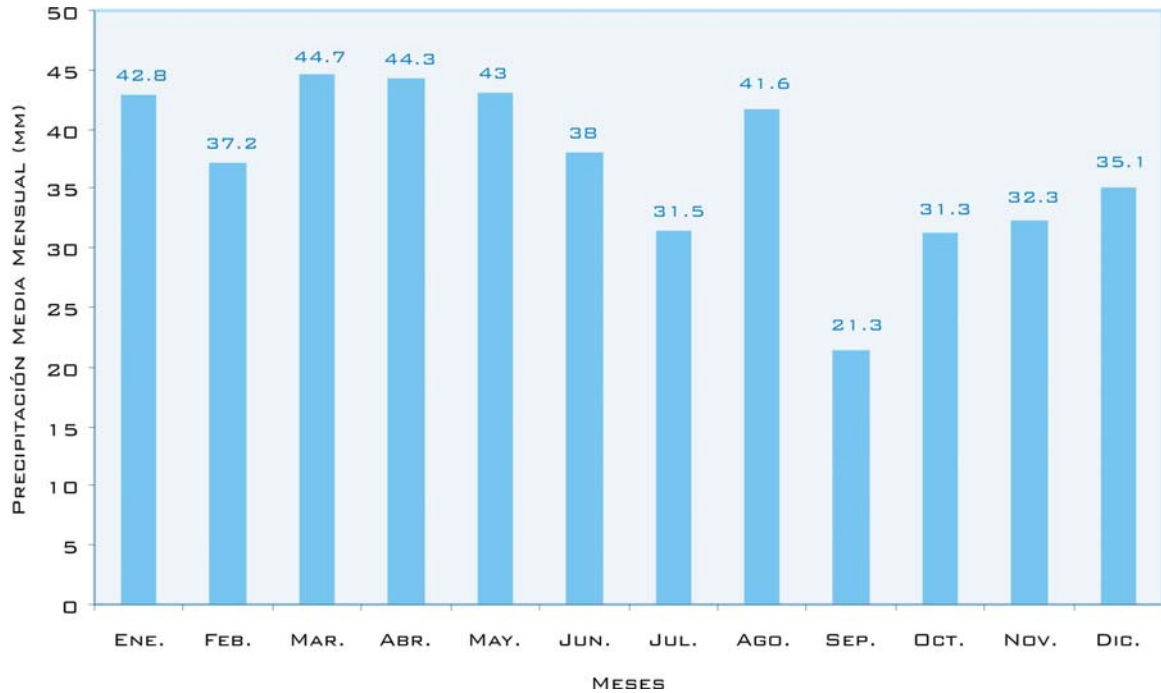




**Figura 19.** Precipitación media representada en isohietas medidas en mm para la zona de estudio.

En la Figura 20 se presenta la marcha anual de los valores medios mensuales de la precipitación en la zona. Como se puede observar, el mes más lluvioso es marzo en el cual las precipitaciones alcanzan los 44.7 mm, asimismo, el menos lluvioso es septiembre, en el cual las precipitaciones son de 21.3 mm.

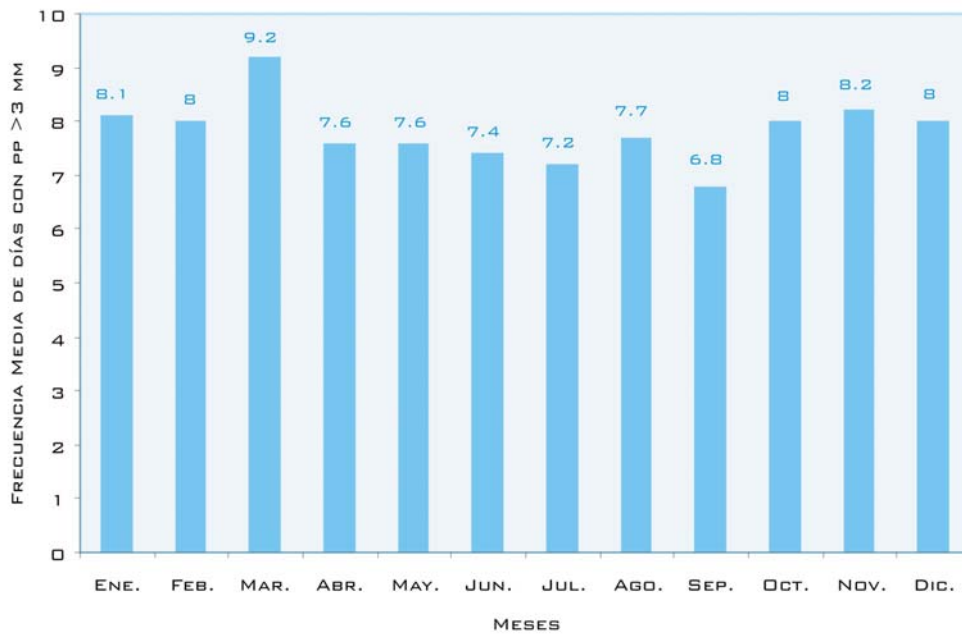
Según estos datos no se nota una marcada estacionalidad del régimen de lluvia, cabe destacar que el valor total anual es de 442.9 mm, lo que se correspondería con la información extraída del Atlas de los Recursos Hídricos (500 mm anuales).



**Figura 20.** Variación anual de la precipitación mensual media. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

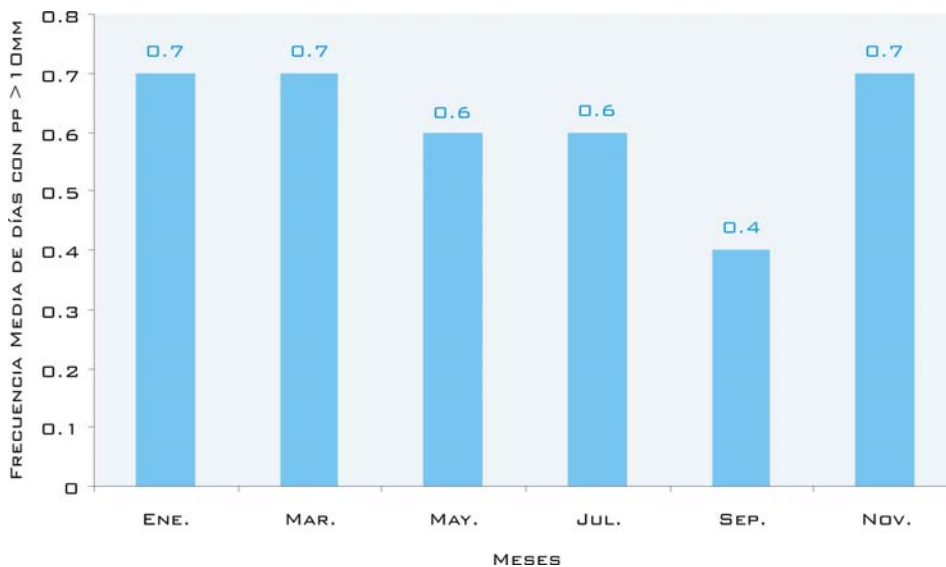
Por otro lado, en la Figura 21 encuentra representada la variación anual del número medio mensual de días con precipitación mayor que 3mm tal como se presenta en el estudio del SEGEMAR – YCRT. Se observa que la mayor cantidad media mensual de días con precipitación mayor que >3mm ocurre en los meses de primavera y verano.

En todos los meses se presentan menos de la tercera parte de los días con precipitación mayor que 3mm y la cantidad total de días con precipitación mayor que 3mm representa algo más de la cuarta parte del período.



**Figura 21.** Variación anual del número medio mensual de días con precipitación mayor que 3mm. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR – YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

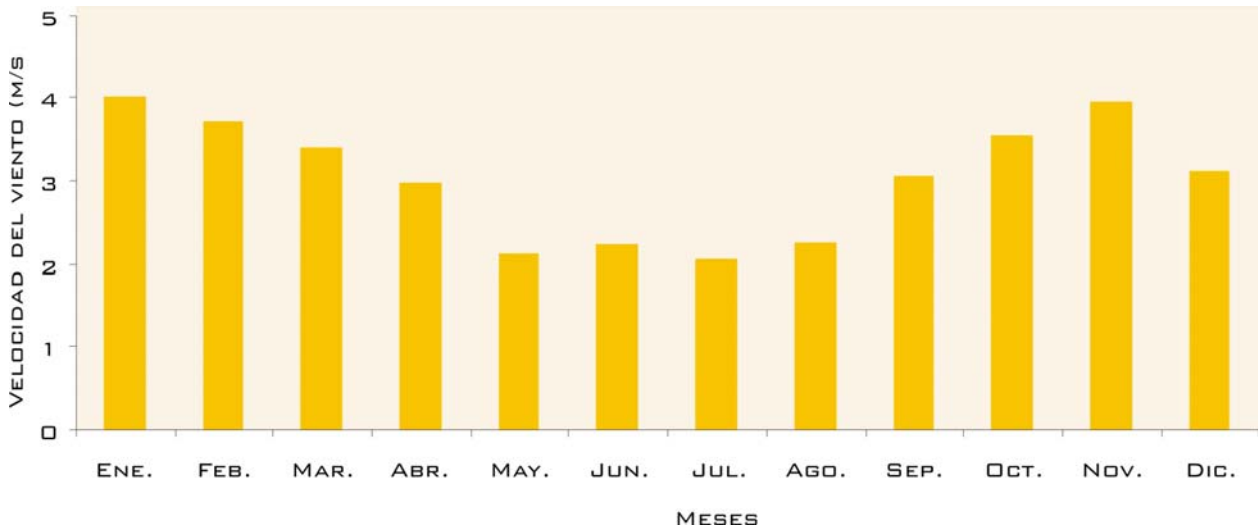
En la siguiente Figura 22 se incluye el número medio mensual y total anual de días con precipitación mayor que 10mm, sólo para los meses impares tal como se presenta en el estudio del SEGEMAR – YCRT. En la misma se observa que noviembre, enero y marzo son los meses en los cuales se presenta la mayor ocurrencia mensual del número medio de días con lluvia mayor que 10mm.



**Figura 22.** Variación anual del número medio mensual de días con precipitación mayor que 10 mm. (Sólo meses impares). Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR – YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

### 1.1.2.7 Vientos

En la Figura 23 se representa la marcha anual de las velocidades medias mensuales del viento para el período 1901 - 2000. Como puede observarse, los valores de la velocidad media mensual entre octubre y marzo son mayores que el valor de la velocidad media anual, mientras que los de los otros meses no superan ese valor. Las menores velocidades medias mensuales se presentan en los meses de mayo y julio con 2.1m/s y la mayor velocidad de los vientos se presenta en el mes de enero con 4.0 m/s.



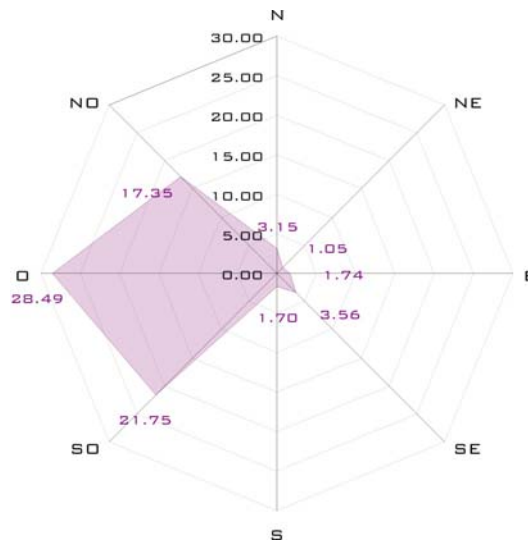
**Figura 23.** Variación anual de las velocidades medias mensuales del viento (m/s). Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

### 1.1.2.8 Dirección del Viento

Tal como para alguno de los otros parámetros del clima, se han analizado los períodos de tiempo 1901 – 2000 y 2001 – 2008 para el viento. En la siguiente tabla se presentan las frecuencias de ocurrencia de vientos procedentes de cada dirección para el período 1901 - 2000, observándose las frecuencias mensuales y la frecuencia anual de ocurrencia así como las frecuencias de las calmas en escala de 100.

**Tabla 7.** Frecuencia anual de ocurrencia de vientos y calmas Frecuencia Anual Vientos (expresada por 100). Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

MES	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	CALMAS
ENE	0.64	0.39	2.17	1.43	33.06	36.93	10.21	1.3	13.87
FEB	0.69	0.77	1.52	1.56	27.72	30.43	19.86	2.98	14.47
MAR	1.64	1.45	2.03	1.53	21.34	27.43	16.25	2.99	25.32
ABR	0.82	1.64	3.55	1.66	19.56	25.9	19.65	3.66	23.59
MAY	1	1.48	5.09	2.15	11.79	22.69	20.05	4.27	31.48
JUN	0.64	1.55	3.07	1.04	11.31	26.71	21.11	2.97	31.61
JUL	1	3.15	5.64	1.43	10.01	27.06	14.58	3.95	33.18
AGO	0.67	3.04	3.55	1.46	16.03	26.12	16.07	4.03	29.03
SET	2.79	3.52	6.88	2.44	17.75	25.55	18.26	4.23	18.58
OCT	1.13	0.64	2.15	1.64	24.83	31.85	22.1	3.39	12.28
NOV	0.88	1.82	3.85	2.12	28.11	31.34	17.72	2.39	11.77
DIC	0.71	1.43	3.27	1.93	39.5	29.92	12.29	1.69	9.26
AÑO	1.06	1.7	3.59	1.71	22.09	28.49	17.36	3.13	20.87



**Figura 24.** Frecuencia (por 100) estacional de vientos anuales en Río Turbio. Fuente: EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

Se puede observar que las direcciones del viento predominantes durante todos los meses son noroeste, oeste y suroeste, como se ha visto anteriormente, esto se debe principalmente a la disposición de las isobaras en esta zona.

Asimismo, se observa en la Tabla 7 que el porcentaje de calmas es importante, especialmente en las estaciones más frías y disminuyen en los meses más cálidos. En este sentido la mayor frecuencia de calmas se observa en el mes de julio en donde se presentan en un 33.18% y la menor en el mes de diciembre con el 9.26% de calmas.

A continuación en la Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28, se han representado en forma separada las frecuencias de vientos estacionales.

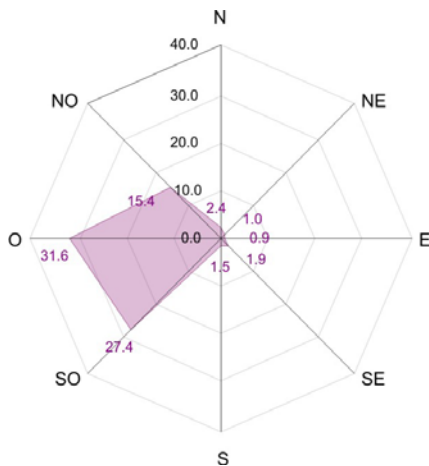


Figura 25. Frecuencia (por 100) estacional de vientos en verano.

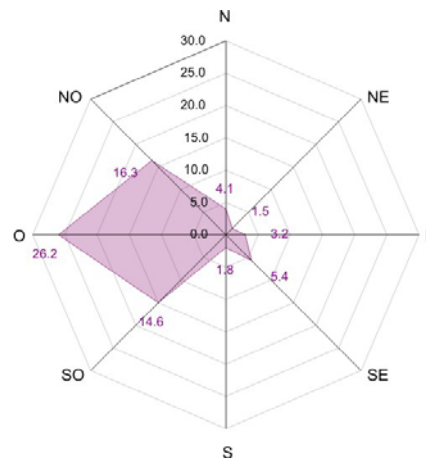


Figura 26. Frecuencia (por 100) estacional de vientos en invierno.

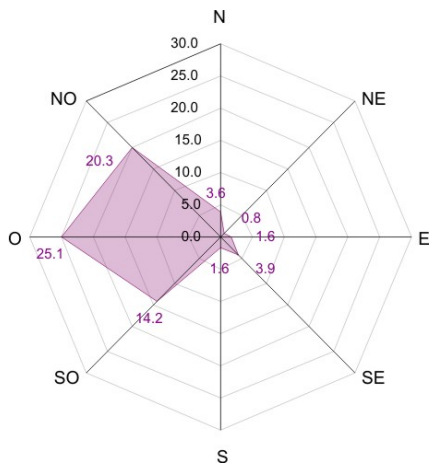


Figura 27. Frecuencia (por 100) estacional de vientos en otoño.

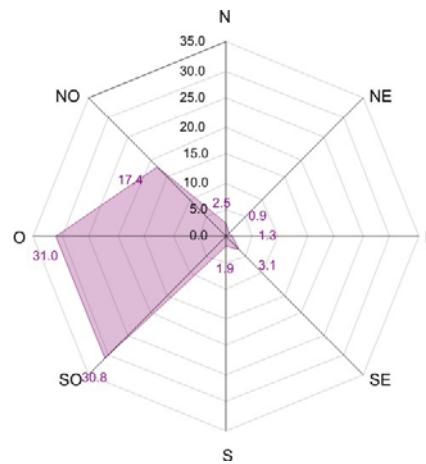


Figura 28. Frecuencia (por 100) estacional de vientos en primavera.

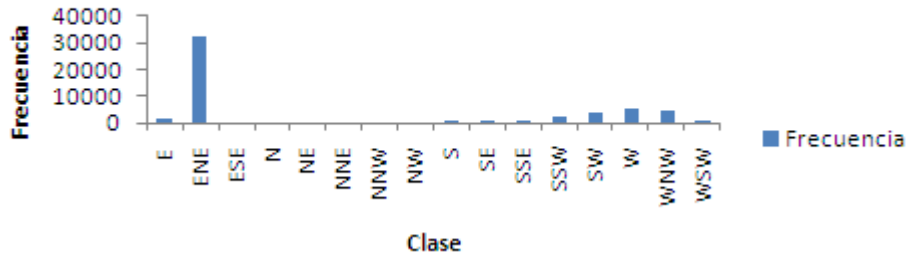
La frecuencia del viento correspondiente a la dirección suroeste es importante entre los meses primavera principalmente y verano en menos medida, y está vinculada con el corrimiento hacia el sur y su acercamiento a la costa continental del anticiclón semi-permanente del Océano Pacífico sur.

Como es de esperarse, las mayores velocidades medias mensuales del viento coinciden con la época de menor frecuencia de calmas. Las frecuencias del viento del sector N-S que incluye al este tienen, en general valores muy bajos, cercanos al 10%.

Los datos de viento provenientes de la estación meteorológica de Río Turbio han sido procesados y se ha realizado una rosa de los vientos que incluye todo el período 2001 – 2008.

A continuación se presentan los histogramas anuales del período en los cuales se observan las frecuencias direccionales del viento.

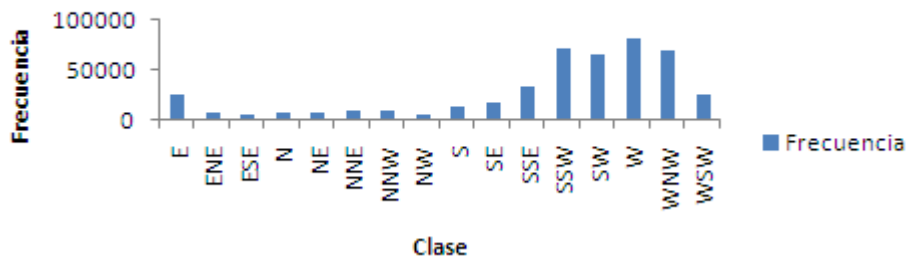
Histograma de los Vientos en Río Turbio  
Año 2001



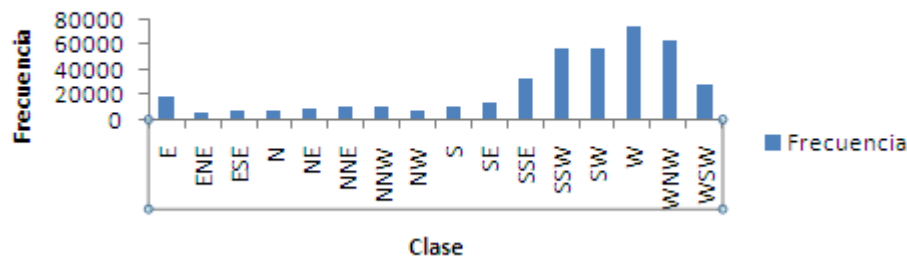
Histograma de los vientos en Río Turbio  
Año 2002



Histograma de los Vientos de Río Turbio  
Año 2003



Histograma de los Vientos de Río Turbio  
Año 2004



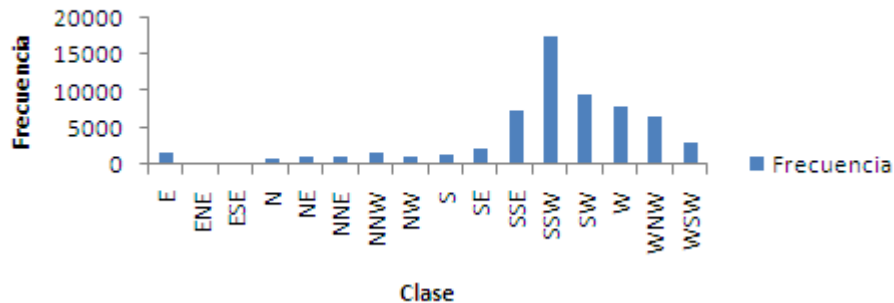
**Histograma de los Vientos de Río Turbio**  
**Año 2005**



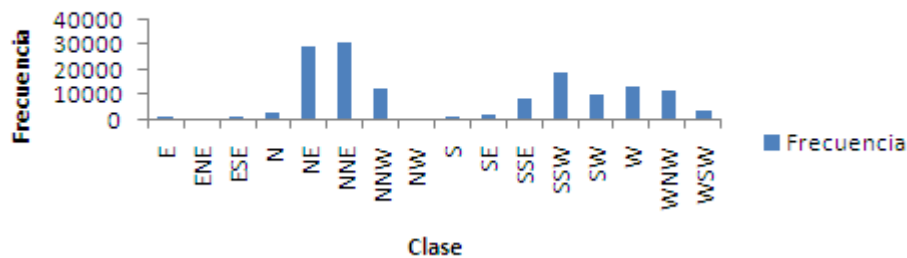
**Histograma de los Vientos de Río Turbio**  
**Año 2006**



**Histograma de los Vientos de Río Turbio**  
**Año 2007**



**Histograma de los Vientos de Río Turbio**  
**Año 2008**



A continuación en la Tabla 8 se presentan las frecuencias por intervalo de velocidad del viento, a partir de la cual se puede observar que el 42% del tiempo se presenta un viento de entre 0 y 10 km/h y el 23,2% se encuentra en el rango de 10 a 20 km/h.



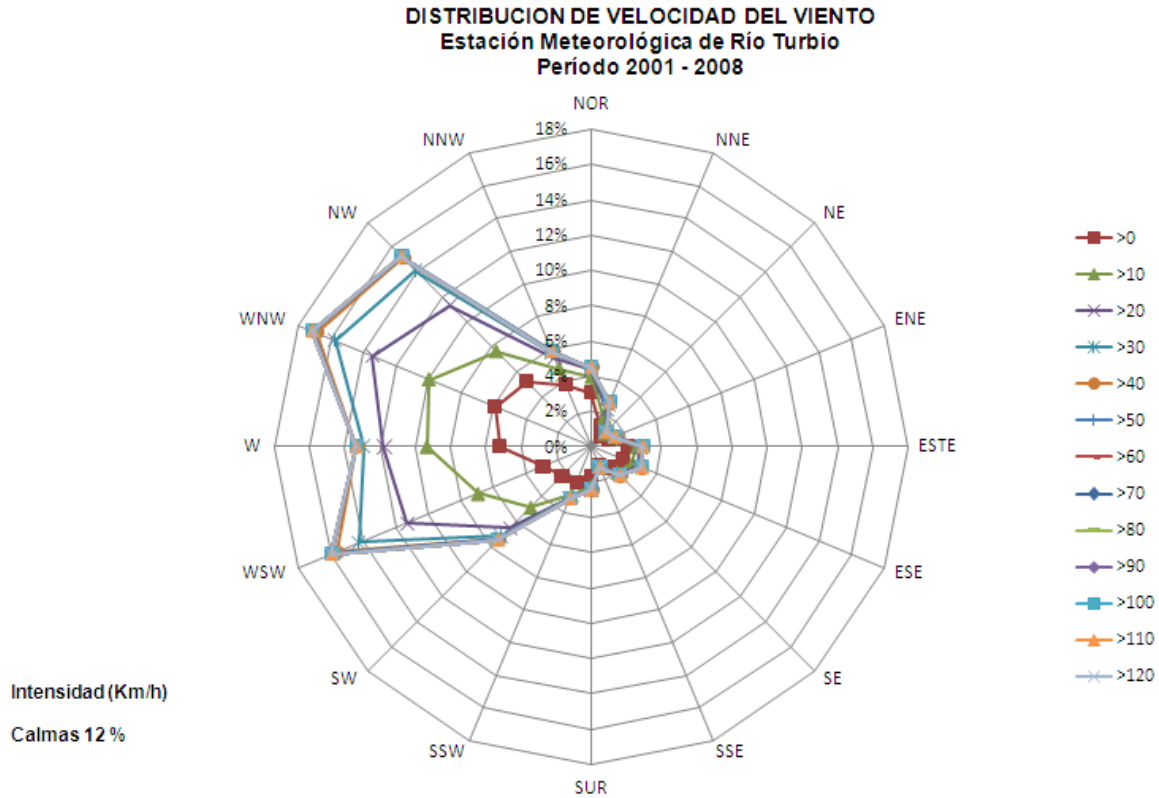
**Tabla 8.** Frecuencias acumuladas de los vientos por dirección e intensidad. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.

DIR	VELOCIDAD (km/h)													TOTAL
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100	100 - 110	110 - 120	120 - 130	
NOR	3.020%	0.941%	0.403%	0.082%	0.026%	0.014%	0.006%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	4.493%
NNE	1.302%	0.530%	0.448%	0.253%	0.120%	0.037%	0.015%	0.005%	0.002%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	2.713%
NE	0.816%	0.219%	0.111%	0.023%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.171%
ENE	1.065%	0.354%	0.036%	0.003%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.458%
ESTE	2.036%	0.522%	0.178%	0.115%	0.064%	0.018%	0.003%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.935%
ESE	1.919%	0.572%	0.399%	0.178%	0.020%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	3.089%
SE	1.670%	0.375%	0.175%	0.074%	0.013%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.308%
SSE	1.099%	0.139%	0.018%	0.002%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	1.260%
SUR	1.639%	0.626%	0.155%	0.019%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	2.440%
SSW	2.168%	0.820%	0.178%	0.014%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	3.180%
SW	2.357%	2.504%	1.644%	0.709%	0.224%	0.039%	0.005%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	7.483%
WSW	2.960%	3.982%	4.334%	2.976%	1.327%	0.279%	0.057%	0.008%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	15.924%
W	5.190%	4.113%	2.438%	1.161%	0.367%	0.063%	0.013%	0.003%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	13.348%
WNW	5.906%	4.039%	3.471%	2.289%	1.118%	0.241%	0.049%	0.008%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	17.122%
NW	5.170%	2.455%	3.659%	2.832%	0.972%	0.117%	0.013%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	15.220%
NNW	3.783%	1.014%	0.679%	0.288%	0.081%	0.010%	0.002%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	5.857%
<b>TOTAL</b>	<b>42.1%</b>	<b>23.2%</b>	<b>18.3%</b>	<b>11.0%</b>	<b>4.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>0.161%</b>	<b>0.03%</b>	<b>0.004%</b>	<b>0.001%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>100%</b>

A continuación en la Tabla 9 se presentan las frecuencias acumuladas a partir de las cuales se ha podido confeccionar la rosa de los vientos. La misma se presenta en la siguiente Figura 29.

**Tabla 9.** Frecuencias acumuladas de los vientos por dirección e intensidad. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.

DIR	VELOCIDAD (km/h)												
	>0	>10	>20	>30	>40	>50	>60	>70	>80	>90	>100	>110	>120
NOR	3.02%	3.96%	4.36%	4.45%	4.47%	4.49%	4.49%	4.49%	4.49%	4.49%	4.49%	4.49%	4.49%
NNE	1.30%	1.83%	2.28%	2.53%	2.65%	2.69%	2.70%	2.71%	2.71%	2.71%	2.71%	2.71%	2.71%
NE	0.82%	1.03%	1.15%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%	1.17%
ENE	1.06%	1.42%	1.45%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%	1.46%
ESTE	2.04%	2.56%	2.74%	2.85%	2.91%	2.93%	2.93%	2.94%	2.94%	2.94%	2.94%	2.94%	2.94%
ESE	1.92%	2.49%	2.89%	3.07%	3.09%	3.09%	3.09%	3.09%	3.09%	3.09%	3.09%	3.09%	3.09%
SE	1.67%	2.04%	2.22%	2.29%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%	2.31%
SSE	1.10%	1.24%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%	1.26%
SUR	1.64%	2.27%	2.42%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%	2.44%
SSW	2.17%	2.99%	3.17%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%	3.18%
SW	2.36%	4.86%	6.51%	7.21%	7.44%	7.48%	7.48%	7.48%	7.48%	7.48%	7.48%	7.48%	7.48%
WSW	2.96%	6.94%	11.28%	14.25%	15.58%	15.86%	15.92%	15.92%	15.92%	15.92%	15.92%	15.92%	15.92%
W	5.19%	9.30%	11.74%	12.90%	13.27%	13.33%	13.34%	13.35%	13.35%	13.35%	13.35%	13.35%	13.35%
WNW	5.91%	9.94%	13.42%	15.71%	16.82%	17.06%	17.11%	17.12%	17.12%	17.12%	17.12%	17.12%	17.12%
NW	5.17%	7.63%	11.28%	14.12%	15.09%	15.21%	15.22%	15.22%	15.22%	15.22%	15.22%	15.22%	15.22%
NNW	3.78%	4.80%	5.48%	5.76%	5.85%	5.85%	5.86%	5.86%	5.86%	5.86%	5.86%	5.86%	5.86%



**Figura 29.** Rosa de los vientos anuales en Río Turbio. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Estación Meteorológica DAVIS WEATHERLINK 4.04 de Río Turbio. Período 2001 – 2008.

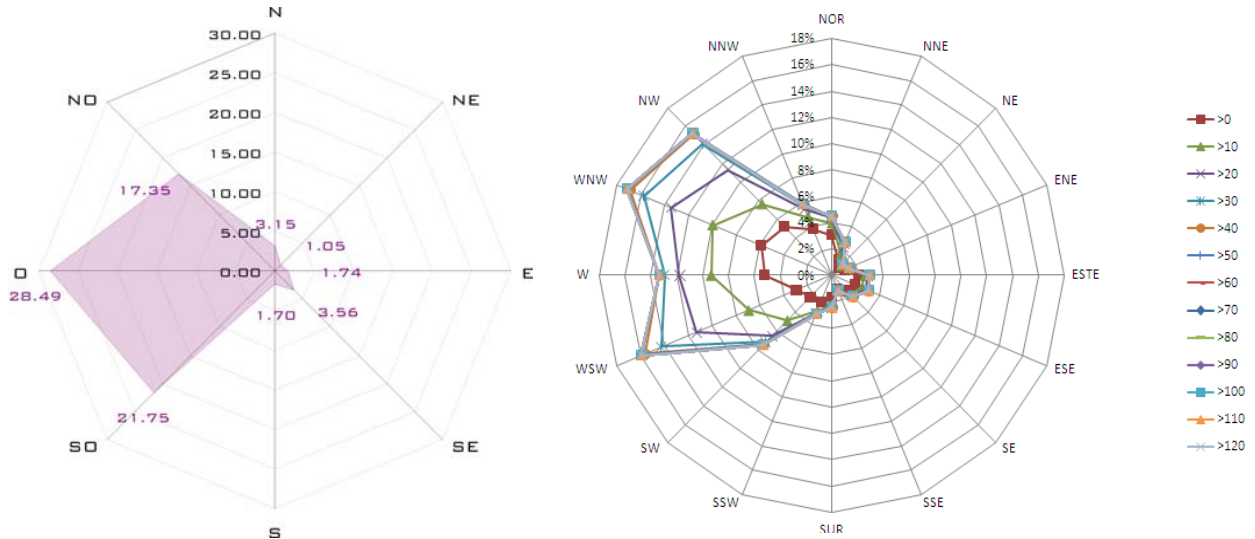
Como se puede observar, ambos períodos analizados presentan vientos predominantes del sector oeste, suroeste, sur suroeste y oeste noroeste, correspondiéndose de forma clara con el período de 100 años presentado anteriormente.

Las calmas representaron el 12% para este período analizado. Respecto de la intensidad del viento

Asimismo, del análisis de los vientos se puede aseverar la presencia del comportamiento esperado de los vientos para esta región (vientos principalmente del sector oeste), tal como se explicaba en las características a nivel regional del clima característico de la región patagónica.

Finalmente se presentan las rosas de los vientos para ambos períodos estudiados a los fines de visualizar la tendencia de los últimos 8 años respecto del período anterior. Se observa en el último período el aumento en la frecuencia de dos componentes direccionales predominantes del viento, por sobre la dirección oeste que se observa como predominante en el período anterior. Por un lado, la dirección oeste noroeste y por otro, oeste suroeste.

No obstante, como se mencionaba anteriormente, los vientos siguen el comportamiento esperado para esta región y se corresponden con el último siglo.

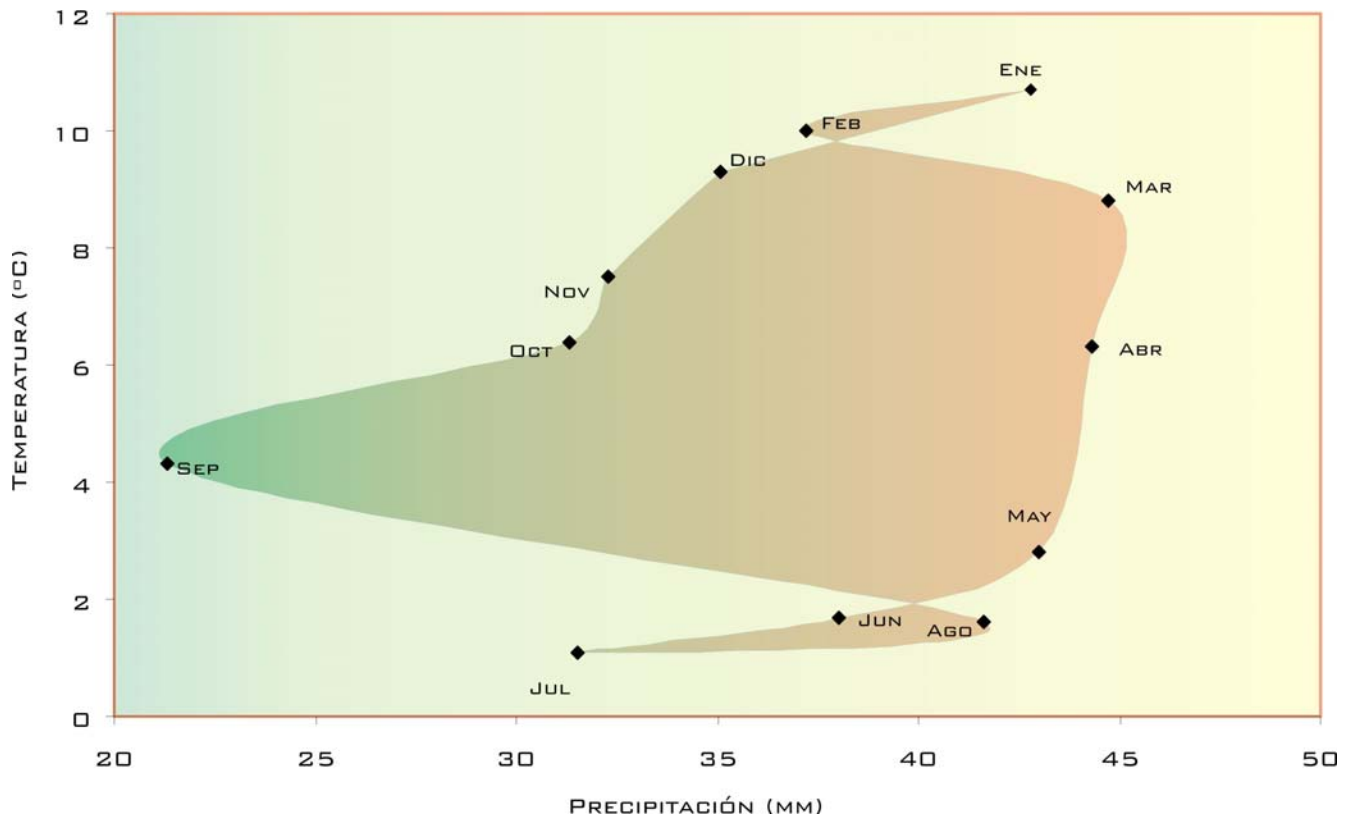


**Figura 30.** Comparación de las rosas de los vientos anuales en Río Turbio para los períodos 1901 – 2000 y 2001 - 2008.

### 1.1.2.9 Climodiagrama

A continuación en la Figura 31 se presenta un climodiagrama elaborado en base a los datos de temperatura media mensual y precipitación media mensual para el período 1901 – 2000.

En el mismo se puede apreciar la diferencia climática entre estaciones, representándose los meses que corresponden al invierno en el extremo inferior (junio, julio y agosto) y en el otro extremo superior se representan los meses más cálidos, los cuales determinan el verano térmico (diciembre, enero, febrero y marzo).



**Figura 31:** Climodiagrama. Fuente: Elaboración propia en base a datos del EIA de la Central Termoeléctrica de Río Turbio. Provincia de Santa Cruz. Convenio SEGEMAR –YCRT. Año 2006. Período 1901 – 2000.

### 1.1.3 Síntesis Climática

A nivel regional, la zona se ha caracterizado climáticamente por la constancia en la dirección del viento con una componente desde el sentido oeste muy marcada y altas velocidades, como se ha visto, generados principalmente por la influencia de los dos centros anticiclónicos semi-permanentes ubicados en el sur de los Océanos Pacífico y Atlántico.

En particular, la zona de influencia del proyecto tiene como características una temperatura media mensual máxima de aproximadamente 10.7°C que se presenta en el mes de Enero y la menor de 1.1 °C que se presenta en el mes de Julio. Asimismo, la temperatura absoluta puede oscilar entre -27°C y 31.5°C y las temperaturas mínimas y máximas medias anuales varían entre 0.7°C y 10.9°C.

En el análisis del período de los últimos 8 años se observó que las temperaturas medias no han variado significativamente y en líneas generales la marcha mensual de temperaturas se mantiene en los mismos valores excepto por el mes de junio en el cual se observó una leve disminución.

Respecto de la humedad relativa, la media mensual máxima se encuentra en el 83% presentándose en el mes de Julio y la menor es del 65% presentándose en el mes de Enero para el período 1901 – 2000 observándose una disminución de la marcha mensual en el período 2001 - 2008.

No obstante, la amplitud anual de la humedad relativa media mensual es de 18% tanto para el período 1901 – 2000 como para el período 2001 – 2008.

Por otro lado, la tensión de vapor (presión) media mensual más alta corresponde al mes de Febrero con 8.5 hPa y la más baja ocurre en Julio con 5.2 hPa, no se ha podido actualizar esta información debido a la falta de datos.

Los datos de nubosidad media mensual (en escala 0-10) para el período 1901 – 2000 se encuentra comprendida entre 5.2 durante el mes de Julio y de 7.1 durante el mes de Diciembre, esto se encuentra relacionado directamente con el número medio mensual de días con cielo despejado, el cual fluctúa entre 0.2 en el mes de Diciembre y 4.8 en el mes de Julio. Finalmente, el número total anual de días con cielo claro es de 23.8 y la cantidad media mensual de días con cielo cubierto está comprendida entre 6.6 durante el mes de Mayo y 12.6 durante el mes de Diciembre, siendo el número total anual de días nublados de 114.2.

La precipitación media mensual del mismo período está comprendida entre 21.3 mm en el mes de Septiembre y 44.7 mm en el mes de Marzo, lloviendo 442.9mm durante todo el año. Asimismo, el número medio mensual de días con precipitación mayor que 3mm se encuentra comprendido entre 6.8 en el mes de Septiembre y 9.2 durante el mes de Marzo.

El valor anual del número total de días con precipitación mayor que 3 mm es de 93.8. Finalmente, la cantidad anual de días con precipitación superior a 10mm es de 7.8.

En cuanto al viento, su velocidad media mensual varía entre 2.1 m/s (durante los meses de Mayo y Julio) y 4.0 m/s durante el mes de Enero, siendo la velocidad media anual de 3.1m/s. Respecto de la dirección, predominan los vientos provenientes del noroeste, oeste y sudoeste durante todo el año, siendo el valor anual de las calmas aproximadamente el 21%. En el análisis del período de los últimos 8 años se observó una alta frecuencia hacia las componentes direccionales oeste noroeste y oeste suroeste, aún mayores que para la componente oeste que prevalecía en el período 1901 – 2000. No obstante se observó que en líneas generales el viento de la zona de Río Turbio sigue el comportamiento esperado de la circulación de los vientos característico de la región.

Finalmente y de acuerdo con la descripción realizada en este capítulo, se puede tipificar a la zona de Río Turbio por pertenecer al clima templado húmedo (de acuerdo con la clasificación climática elaborada por Köppen) y al clima subhúmedo seco (según la clasificación climática desarrollada por Thornthwaite).

Finalmente es menester aclarar que los datos presentados y analizados anteriormente respecto de las temperaturas medias y extremas, la marcha anual de la humedad relativa, los días con cielo cubierto, la precipitación anual y la velocidad y dirección de los vientos han sido tenidos en cuenta en el diseño de la caldera de la central termoeléctrica de Río Turbio.

## 1.2 CALIDAD DEL AIRE

### 1.2.1 Introducción

A los fines de establecer indicadores referenciales de la línea de base en cuanto a la calidad del aire que actualmente se presenta en la zona de estudio, ha sido desarrollado un plan de muestreo de la zona.

La selección de los parámetros a ser muestreados y los sitios de muestreo se llevó a cabo teniendo en cuenta las características del proyecto, la ubicación de la central y las características climáticas de la zona de influencia directa e indirecta del proyecto. En este sentido, los parámetros a ser muestreados se seleccionaron en base al análisis de las características generales y particulares de la zona de estudio y a las potenciales emisiones derivadas del proyecto bajo estudio.

Los resultados del muestreo han sido ordenados por sitio de la toma de muestra a los fines de poder realizar un análisis no sólo de niveles de contaminación por sitio sino también un análisis de tipo espacial. De este modo se pueden establecer agrupaciones de zonas con similares niveles de gases o material particulado o bien identificar tendencias de disminución o aumento de las concentraciones.

A continuación en la Tabla 10 se presentan los parámetros muestreados especificando para cada uno de los mismos el tiempo de muestreo considerado.

**Tabla 10.** Parámetros seleccionados para la realización del muestreo de calidad de aire en la zona de emplazamiento del proyecto.

Parámetro	Método Analítico	Tiempo de muestreo
Monóxido de carbono	NIOSH 6604	8 hrs.
Óxidos de nitrógeno	ASTM D 3608 ASTM D 3608	1hr.
Dióxido de azufre	ASTM D 2914	24 hrs
Material particulado en suspensión PM-10	CFR 40.Part.50 app.J	24 hrs
Sulfuro de hidrógeno	Vía húmeda (azul de metileno)	2 hrs**
Mercurio (sobre PM total)	OSHA ID 145	1 hr
Plomo (sobre PM total)	ASTM D 4096/EPA IO- 3.1/3.2	1 hr ****
Cobre (sobre PM total)	ASTM D 4096/EPA IO 3.1/3.2	1 hr
Hierro (sobre PM total)	ASTM D 4096/EPA IO 3.1/3.2	1 hr
Material Particulado Sedimentable		30 días

\*\* Tiempo necesario para llegar al límite de 0,008 mg/ m<sup>3</sup>

\*\*\*\* Tiempo necesario para llegar al límite de 0,00005 mg/ m<sup>3</sup>

Asimismo, los sitios en los cuales se tomarían las muestras se seleccionaron de manera tal que permitieran abarcar aquella zona de influencia directa del proyecto. A continuación en la Tabla 11 se presenta un cuadro esquemático de la distribución de de los sitios donde han sido localizados los equipos de muestreo.

**Tabla 11.** Sitios de colocación de equipos de muestreo.

Código	Ubicación	Medición realizada	Nº de días de muestreo
CA-01	Hospital 28 de Noviembre	Gases / Pm10	1
CA-02	Terreno propiedad de Gilberto Pareja	Gases / Pm10	1
CA-03	Terreno sobre ladera de la montaña, del lado opuesto de la Ruta Nacional Nº 40 en relación al punto 2	Gases / Pm10	1
CA-04	Terreno propiedad de Mauro Ventraña	Gases / Pm10	1
CA-05	Casilla de cuidador del Basurero	Gases / Pm10	1
CA-06	Salita de Primeros Auxilios en Julia Dufour	Gases / Pm10	1
CA-07	Hotel Capipe en Julia Dufour	Gases / Pm10	4
CA-08	Radio AM 620	Gases / Pm10	1
CA-09	Sector Este Alternativa 2	Gases / Pm10	1
CA-10	Sector Oeste Alternativa 2	Gases / Pm10	1
CA-11	Terreno propiedad de Mario Bucarey	Gases / Pm10	1
CA-12	Terreno propiedad del Sr. Rodríguez	Gases / Pm10	1
CA-13	Gendarmería en Río Turbio	Gases / Pm10	4
CA-14	Propiedad Empresa Constructora Gotti en Río Turbio	Gases / Pm10	4
CA-15	Jardín de Infantes en Río Turbio	Gases / Pm10	4
CA-16	Municipalidad Río Turbio	Gases / Pm10	4
CA-17	Gendarmería San José	Gases / Pm10	1
CA-18	Sector al Norte de Pista de Sky	Gases / Pm10	1
CA-19	Sector al Sur de Pista de Sky	Gases / Pm10	1
CA-20	Sector al Sur Este de Pista de Sky	Gases / Pm10	1
CA-21	Mina 1	Gases / Pm10	1
CA-22	Gendarmería en Frontera	Gases / Pm10	1

En cuatro de los puntos de muestreo ubicados en la localidad de Río Turbio, en el poblado de Julia Dufour y otro en la localidad de 28 de Noviembre (representados en color verde) se muestrearon todos los gases y material particulado en suspensión (PM 10) a lo largo de cuatro días diferentes.

En estos mismos sectores se realizó la medición de material particulado sedimentable, existiendo dos puntos de muestreo en Río Turbio (uno en la localidad y otro en la zona del límite con Chile), uno en Julia Dufour y el cuarto en 28 de Noviembre (representado en color naranja).

En los otros sitios señalados en el Mapa I-14 se determinaron todos los gases y el material particulado en suspensión PM-10 sólo una vez.

Es menester aclarar que durante todo el trabajo de campo se midieron parámetros meteorológicos tales como temperatura ambiente, humedad relativa ambiente, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, en los puntos de toma de muestra.

En el Anexo I se presenta el “MAPA-I-14-SITIOS TOMA DE CALIDAD DE AIRE” con la ubicación de los puntos de muestreo de calidad de aire evaluados.

### 1.2.2 Condiciones Meteorológicas

Como se mencionó anteriormente, durante todos los días de muestreo se registraron los siguientes datos meteorológicos: Temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, humedad relativa ambiente y presión atmosférica, un detalle de los valores medios mínimos y máximos se presenta en la Tabla 12.

En cuanto a la temperatura ambiente, la media de todo el período que abarcó el muestreo fue de 8.8 °C, siendo la temperatura máxima registrada de 14.2 °C el día 15/04/08 y la mínima registrada de 2.6 °C el día 08/04/08.

En cuanto al viento, como era de esperarse la dirección predominante del mismo fue en general oeste, con algunos registros de viento del sector sur. La velocidad del viento media para el mismo período fue de 29.9 km/h habiéndose registrado una intensidad máxima de 42 km/h el día 14/04/08 y una intensidad mínima de 10.6 km/h registrada el día 06/04/08.

Respecto de la humedad relativa, se registró un valor medio de 52.6 % para todo el período encontrándose un valor máximo de 85% el día 06/04/08 y un valor mínimo de 33% el día 15/04/08.

Finalmente se registró un valor medio de presión atmosférica de 971.9 hPa con un mínimo de 958.6 hPa y un máximo de 994.5 hPa.

**Tabla 12.** Condiciones atmosféricas en el período de toma de muestras. Fuente: Estación Meteorológica.

	Unidades	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Mínimo
Temperatura ambiente	°C	8.8	14.2	2.6
Dirección del viento	---	0	0	0
Velocidad del viento	km/h	26.9	42	10.6
Humedad relativa ambiente	%	52.6	85	33
Presión atmosférica	hPa	971.9	994.5	958.6

### 1.2.3 Normas de Referencia para la Evaluación

A continuación en la Tabla 13 se presentan los límites de detección de las técnicas analíticas utilizadas para cada parámetro a medir. En la misma tabla se presentan los límites máximos admisibles para calidad de aire y niveles guías establecidos por diferentes legislaciones u organizaciones.

Existen dos cuestiones importantes que se deben tener en cuenta. Por un lado, para algunos de los parámetros no se cuenta con legislación o bien niveles guía internacionales que los contemplen.

Por otro lado, aquellos que cuentan con valores de referencia presentan un límite de detección asociado de por lo menos un orden de magnitud menor que los mencionados niveles guías, excepto por el valor límite estipulado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para el Dióxido de azufre. En este caso el límite de detección presente un valor similar al de uno de los valores guía tomados como marco de referencia.

También puede mencionarse el caso del valor límite de la OMS y de la Directiva 1999/30/CEE para el PM 10, el cual es el mismo que el límite de detección.



Tabla 13. Comparación de límites de detección de las técnicas de laboratorio utilizados con diferentes niveles guías utilizados para el análisis.

Límite de detección de la técnica analítica	Ley Nacional Nº 20284 (adhiera la Provincia de Santa Cruz por ley 1313)		Ley Nacional Nº 24051 Decreto reglamentario Nº 831/93		Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires Nº 1356 y Decreto Reglamentario 198/2006 (tomado como referencia)			Ley de la Provincia de Buenos Aires Nº 5965 Decreto Reglamentario 3395/96 y Resolución de la Secretaría de Política Ambiental Nº 242/97 (tomado como referencia)			Directiva 1999/30/CE y Directiva 2000/69/CE		EPA / 2006		OMS / 2005			
	Límite	Limite	Período	Limite mg/m3	Período	Limite mg/m3	Limite ppm	Período	Limite mg/m3	Limite ppm	Período	Limite mg/m3	Período	Aclaraciones	Limite mg/m3	Período	Limite mg/m3	Período
NO <sub>x</sub>	0.05 mg/m <sup>3</sup>	0,45 ppm	1 hora	0.9	1 hora	0.376	0.2	1 hora	0,367	0,2	1 hora	0.04	1 año civil	Valor Límite horario para la protección de la salud humana. Valor que no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil.	0.1	Anual	0.04	Media Anual
						0.1	0.053	1 año	0,1	0,053	1 año	0.2	1 Hora	Valor límite anual para la protección de la salud humana.			0.2	1 hora
SO <sub>x</sub>	0.05 mg/m <sup>3</sup>	0,03 ppm	Promedio mensual			0,078	0,03	Promedio Anual	1,3 (*3)	0,50 (*3)	3 horas	0.35	1 Hora	Valor Límite horario para la protección de la salud humana. Valor que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil.	1.3	3 horas	0.02	24 horas

Límite de detección de la técnica analítica	Ley Nacional Nº 20284 (adhiera la Provincia de Santa Cruz por ley 1313)		Ley Nacional Nº 24051 Decreto reglamentario Nº 831/93		Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires Nº 1356 y Decreto Reglamentario 198/2006 (tomado como referencia)			Ley de la Provincia de Buenos Aires Nº 5965 Decreto Reglamentario 3395/96 y Resolución de la Secretaría de Política Ambiental Nº 242/97 (tomado como referencia)			Directiva 1999/30/CE y Directiva 2000/69/CE		EPA / 2006		OMS / 2005			
	Límite	Límite	Período	Límite mg/m3	Período	Límite mg/m3	Límite ppm	Período	Límite mg/m3	Límite ppm	Período	Límite mg/m3	Período	Aclaraciones	Límite mg/m3	Período	Límite mg/m3	Período
						0,367	0,14	24 horas	0,365 (*3)	0,14 (*3)	24 horas	0.125	24 horas	Valor Límite diario para la protección de la salud humana. Valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil.	0.365	24 horas	0.5	Media 10 Minutos
					1,309	0,50	3 horas	0,080 (*2)	0,03 (*2)	1 año	0.08				Anual			
<b>Partículas (Sedimentables)</b>	0.1 mg/cm2 x 30 días.	1 mg/cm2	30 días			1 mg/cm2		1 mes	1 mg/cm2		1 mes							
<b>Partículas (en suspensión)</b>		150 ug/m3	Promedio mensual															

	Límite de detección de la técnica analítica	Ley Nacional Nº 20284 (adhiera la Provincia de Santa Cruz por ley 1313)		Ley Nacional Nº 24051 Decreto reglamentario Nº 831/93		Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires Nº 1356 y Decreto Reglamentario 198/2006 (tomado como referencia)			Ley de la Provincia de Buenos Aires Nº 5965 Decreto Reglamentario 3395/96 y Resolución de la Secretaría de Política Ambiental Nº 242/97 (tomado como referencia)			Directiva 1999/30/CE y Directiva 2000/69/CE			EPA / 2006		OMS / 2005		
		Límite	Límite	Período	Límite mg/m3	Período	Límite mg/m3	Límite ppm	Período	Límite mg/m3	Límite ppm	Período	Límite mg/m3	Período	Aclaraciones	Límite mg/m3	Período	Límite mg/m3	Período
MPT	0,02 mg/Nm <sup>3</sup>																		
PM <sub>10</sub>	0,02 mg/Nm <sup>3</sup>					0,05		Promedio Anual	0,05		1 Año	0,05	24 horas	Valor Límite diario para la protección de la salud humana. Este valor no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año.	0,15	24 horas	0,02	Media Anual	
						0,15		24 horas	0,15		24 horas	0,04	1 año civil	Valor límite anual para la protección de la salud humana.			0,05	24 horas	
PM 2,5															0,015	Anual	0,01	Media Anual	
															0,035	24 horas	0,025	Media de 24 hs	

	Límite de detección de la técnica analítica	Ley Nacional Nº 20284 (adhiera la Provincia de Santa Cruz por ley 1313)		Ley Nacional Nº 24051 Decreto reglamentario Nº 831/93		Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires Nº 1356 y Decreto Reglamentario 198/2006 (tomado como referencia)			Ley de la Provincia de Buenos Aires Nº 5965 Decreto Reglamentario 3395/96 y Resolución de la Secretaría de Política Ambiental Nº 242/97 (tomado como referencia)			Directiva 1999/30/CE y Directiva 2000/69/CE		EPA / 2006		OMS / 2005		
	Límite	Límite	Período	Límite mg/m3	Período	Límite mg/m3	Límite ppm	Período	Límite mg/m3	Límite ppm	Período	Límite mg/m3	Período	Aclaraciones	Límite mg/m3	Período	Límite mg/m3	Período
<b>CO</b>	1.2 mg/Nm <sup>3</sup>	10 ppm	8 hs			10	9	8 horas	10	9	8 horas	10	8 Horas	Valor Límite para la Protección Humana. Media de 8 horas máximas en un día	10	8 Horas		
		50 ppm	1 h			40	35	1 hora	40,082 (*3)	35	1 hora							40
<b>Hg Vapor (elemental)</b>										9,5 E-4	8 horas							
<b>Hg Inorgánico</b>										4,8 E-4	8 horas							
<b>Hg Orgánico</b>										5 E-5	8 horas							
<b>Mercurio (sobre PM total)</b>	0.000002 mg/m <sup>3</sup>																1	1 año
<b>Cu</b>	0.000025 mg/m <sup>3</sup>																	

	Límite de detección de la técnica analítica	Ley Nacional Nº 20284 (adhiera la Provincia de Santa Cruz por ley 1313)		Ley Nacional Nº 24051 Decreto reglamentario Nº 831/93		Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires Nº 1356 y Decreto Reglamentario 198/2006 (tomado como referencia)			Ley de la Provincia de Buenos Aires Nº 5965 Decreto Reglamentario 3395/96 y Resolución de la Secretaría de Política Ambiental Nº 242/97 (tomado como referencia)			Directiva 1999/30/CE y Directiva 2000/69/CE			EPA / 2006		OMS / 2005	
	Límite	Limite	Período	Limite mg/m3	Periodo	Limite mg/m3	Limite ppm	Periodo	Limite mg/m3	Limite ppm	Periodo	Limite mg/m3	Periodo	Aclaraciones	Limite mg/m3	Periodo	Limite mg/m3	Periodo
<b>Pb</b>				0.002	30 minutos	0.0015		Promedio trimestral										
<b>Plomo (sobre PM total)</b>	0.00005 mg/m <sup>3</sup>								0,0015 (*3)		3 meses	0.5	1 año civil		0.0015	3 Meses	0.5	Media Anual

#### **1.2.4 Análisis de los resultados del muestreo**

Como se ha explicado las mediciones tienen como objetivo conocer los niveles de metales en material particulado, gases y material particulado en la atmósfera de la zona de estudio. Los metales pesados se encuentran en la atmósfera asociados al material particulado, es por ello que los compuestos de cobre, hierro, plomo y mercurio fueron medidos sobre el MPT (material particulado total).

La identificación de estos componentes es importante debido a la alta persistencia de los mismos en la atmósfera y particularmente por su toxicidad a bajas concentraciones, además de ser bioacumulables en los organismos.

Asimismo, se han analizado las concentraciones de los gases sulfuros de hidrógeno, monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Todos ellos deben ser analizados debido a que en mayor o menor medida, dependiendo de su concentración son gases perjudiciales para la salud.

Finalmente se analizarán los resultados de las mediciones de material particulado, las partículas pueden también causar efectos negativos sobre la salud, dependiendo del diámetro de las mismas. Particularmente tienen la capacidad de ser nocivas por sí mismas o bien por transportar compuestos agresivos.

##### **1.2.4.1 Metales pesados en Material Particulado**

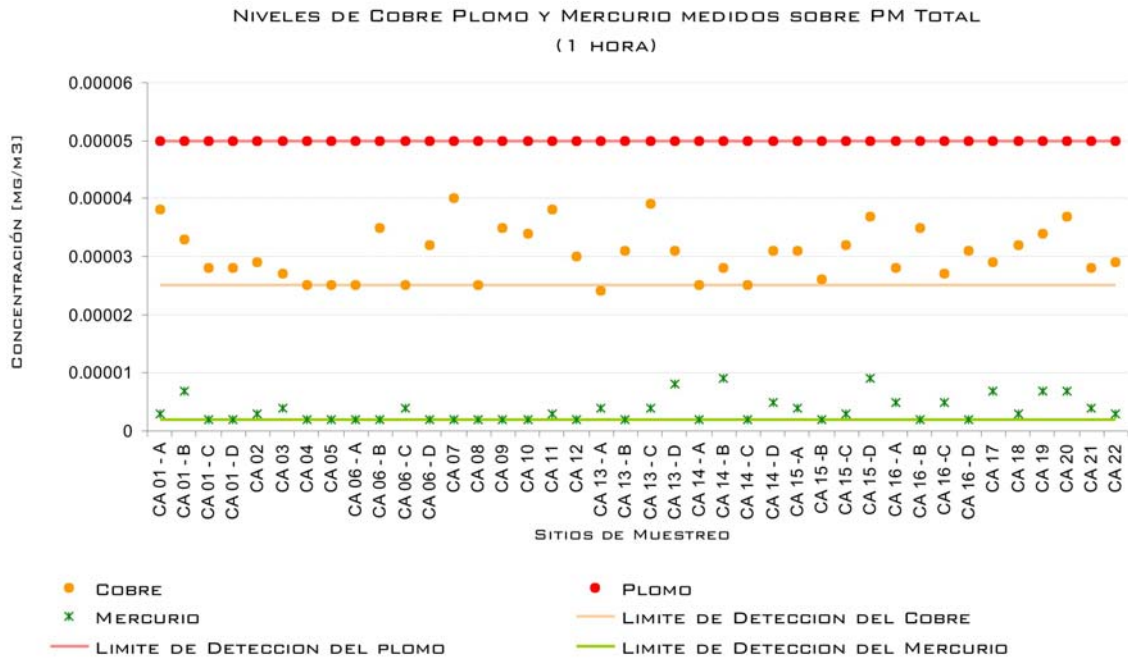
En la siguiente Figura 32 se presenta un gráfico de los niveles de concentración medidos de cobre, plomo y mercurio sobre material particulado total por sitio de muestreo.

No se han encontrado límites o bien niveles guía para la concentración de cobre en material particulado, por cuanto, ha sido graficado el límite de detección de la técnica analítica empleada.

Tanto la Ley 20284 Nación, la Ley 24051 en su Decreto Reglamentario N° 831/93 (Tabla 10) y la Organización Mundial para la Salud, establecen límites para el plomo dentro de los niveles de calidad de aire, los mismos son 0.02mg/l para la ley N° 20284 y 0.0015 mg/l para la Ley N° 24051 y la OMS, sin embargo, estos límites sólo son aplicables a un período de medición de 3 meses y sólo el límite de la OMS se refiere a plomo medido en material particulado.

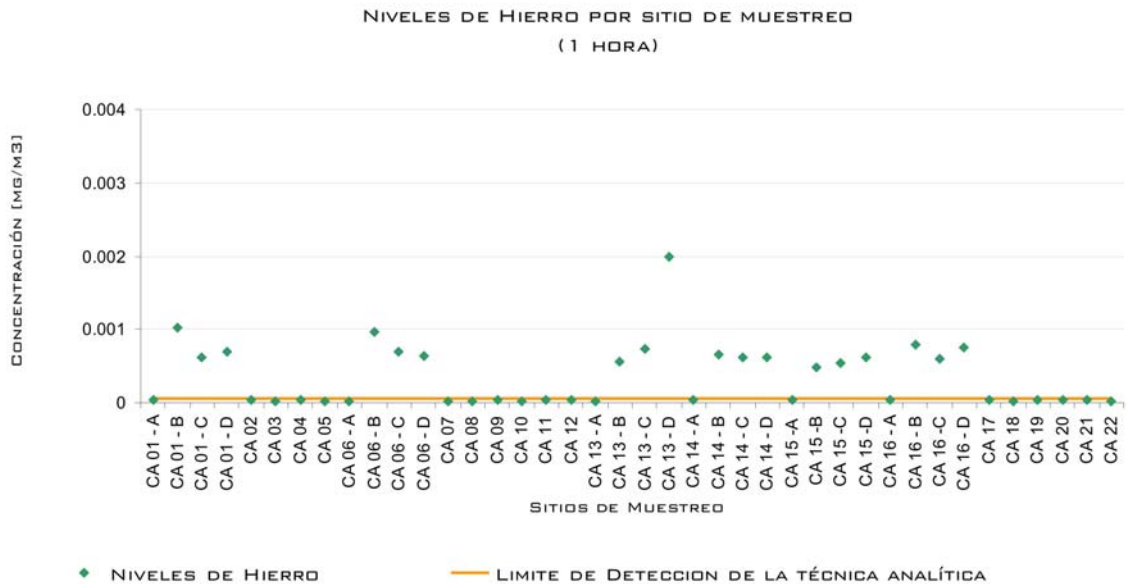
De todos modos, las concentraciones de plomo han sido en todos los casos inferiores al límite de detección de la técnica analítica ( $< 0.00005 \text{ mg/m}^3$ ).

Para la concentración de mercurio en material particulado, la OMS establece un nivel guía de  $1 \text{ mg/m}^3$  considerando un período de 1 año, el cual no puede ser tomado en cuenta para el análisis de los resultados medidos en un período de tiempo de 1 hora.



**Figura 32.** Niveles medidos de cobre, plomo y mercurio en material particulado total por concentración y sitio de muestreo.

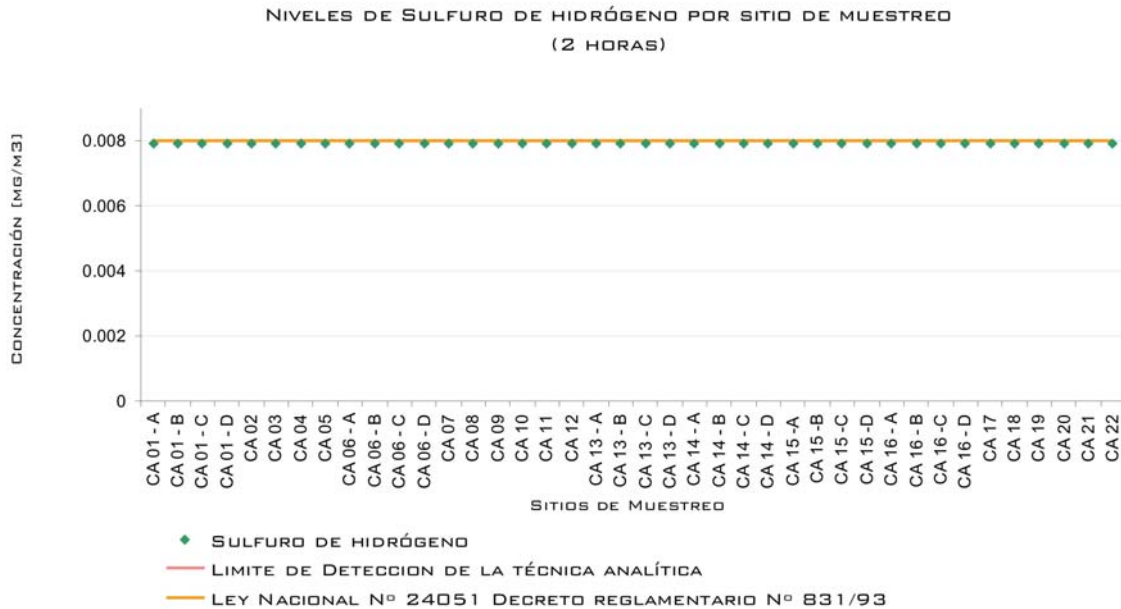
Respecto del Hierro, no se han encontrado especificaciones legales para la concentración de hierro en material particulado, en la Figura 33 que se presenta a continuación se ha graficado el límite de detección de la técnica analítica empleada a modo de referencia.



**Figura 33.** Niveles medidos de hierro en material particulado total por concentración y sitio de muestreo.

### 1.2.4.2 Concentración de Gases

Si bien no se cuenta con una legislación específica respecto de los límites o bien niveles guía de la concentración de sulfuro de hidrógeno en la atmósfera, se han graficado los resultados con el límite de detección de la técnica analítica a los efectos de observar que los niveles han sido en todos los sitios de muestreo inferiores al valor de detección.



**Figura 34.** Niveles medidos de sulfuro de hidrógeno por concentración y sitio de muestreo.

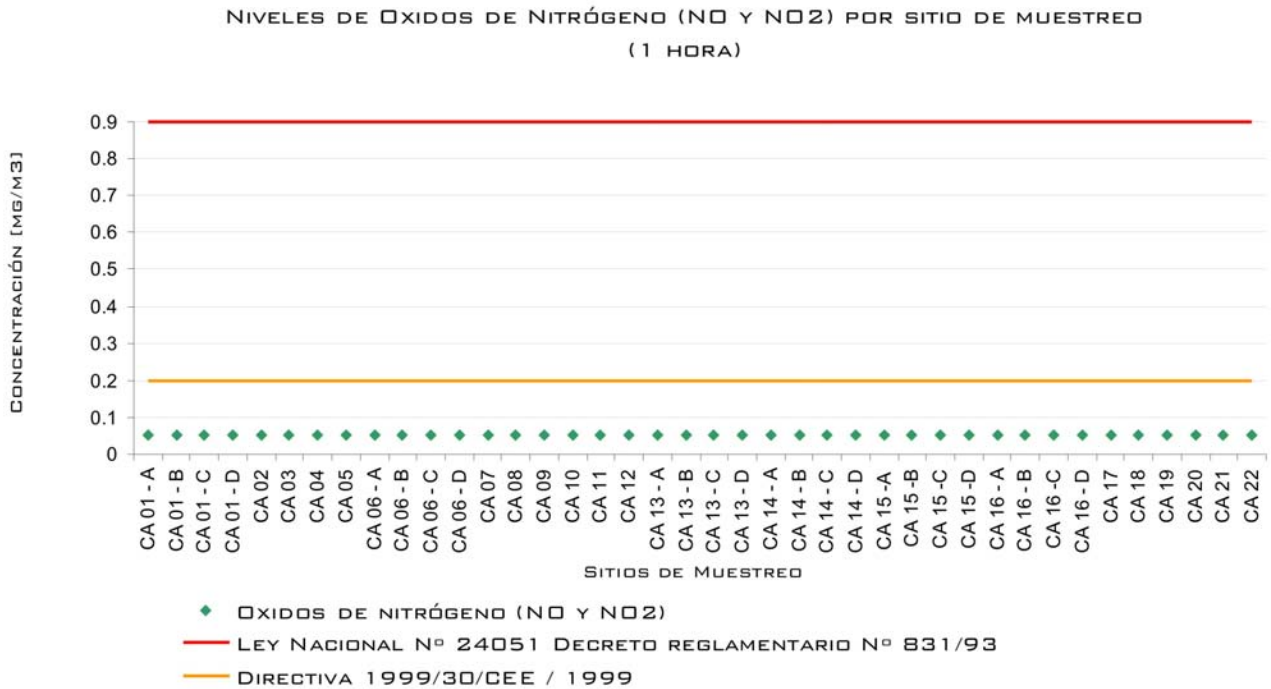
Existen tres formas en las que los denominados genéricamente óxidos de nitrógeno pueden encontrarse más comúnmente en la atmósfera, óxido nitroso ( $N_2O$ ), monóxido de nitrógeno u óxido nítrico ( $NO$ ) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ).

Respecto del monóxido de nitrógeno ( $NO$ ) el mismo se encuentra de forma natural en la atmósfera, en este sentido no se consideran un riesgo para la salud por si mismo, no obstante en la atmósfera puede oxidarse y transformarse en dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), el cual si es considerado nocivo.

En la normativa nacional se ha establecido un límite para el  $NO$  en el Decreto Reglamentario N° 831/93 de la Ley N° 24051. El mismo es de  $0.9 \text{ mg/m}^3$  para un período de medición de 1 hora. Asimismo, la Comunidad Económica Europea establece en su Directiva 1999/30/CEE un límite más estricto de concentración de  $0.2 \text{ mg/m}^3$ .

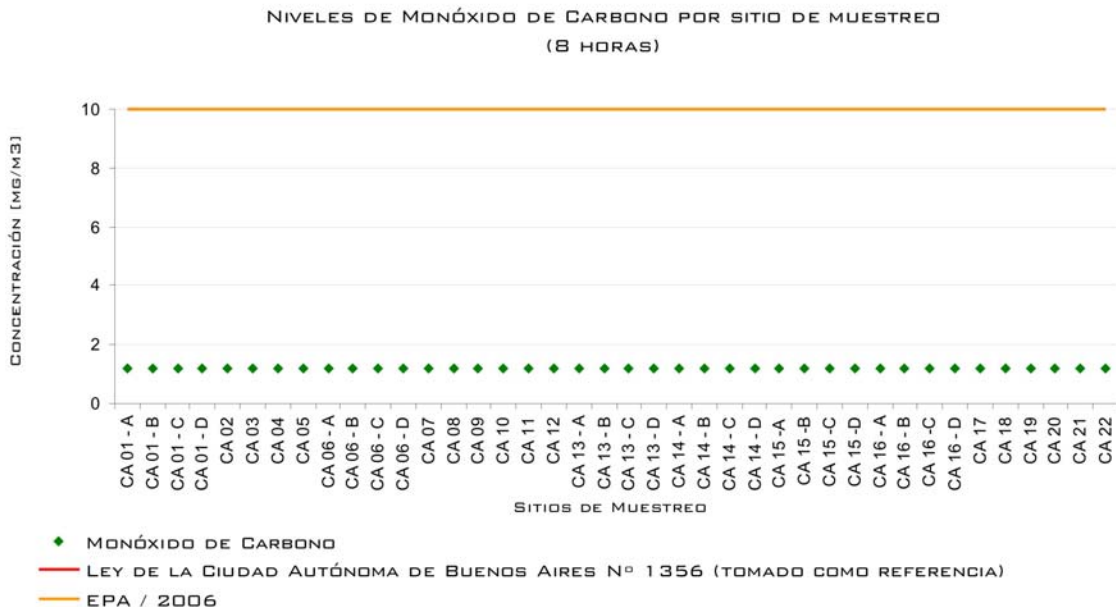
No obstante, como se puede observar en la Figura 35 los niveles medidos se encuentran por debajo de los valores establecidos por ambas normativas. Es menester aclarar, que todos los valores se han encontrado por debajo del límite de detección de la técnica analítica de  $0.05 \text{ mg/m}^3$ .





**Figura 35.** Niveles medidos de óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) por concentración y sitio de muestreo.

Por su parte, el monóxido de carbono es un contaminante que proviene principalmente de la combustión incompleta y de fuentes naturales, como por ejemplo, se forma a partir de la disociación del CO<sub>2</sub> en la parte superior de la atmósfera. El CO en concentraciones altas tiene efectos nocivos para la salud debido principalmente a que afecta el transporte de oxígeno en la sangre (esta situación se da fundamentalmente en espacios cerrados por competencia con los niveles de oxígeno).

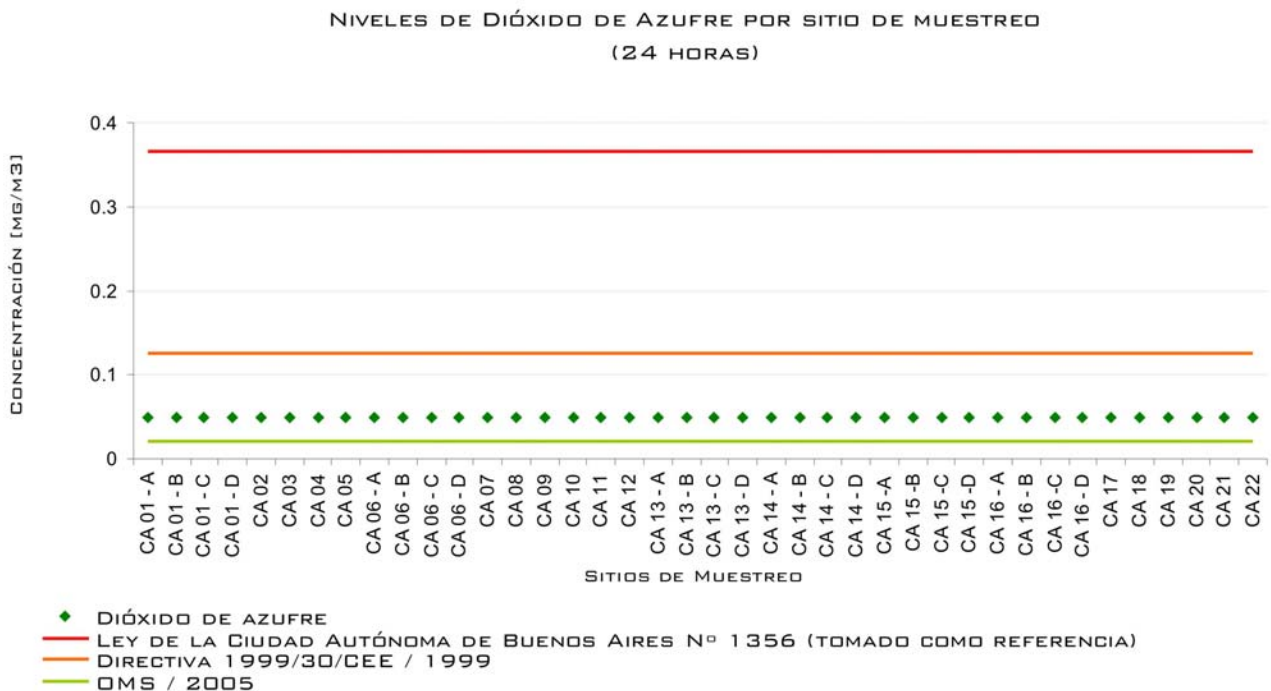


**Figura 36.** Niveles medidos de monóxido de carbono por concentración y sitio de muestreo.

Respecto del dióxido de azufre se puede destacar que las concentraciones resultantes de los muestreos no superan los límites máximos permitidos por la legislación tomada como referencia de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires N° 1356 y tampoco la Directiva 1999/30/CEE / 1999.

Es menester aclarar que los resultados de este parámetro se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica analítica, o sea, menores a 0.05 mg/m<sup>3</sup>.

El SO<sub>2</sub> al igual que las partículas tiene efectos negativos sobre el sistema respiratorio, los efectos más importantes reproducen cuando éste se introduce en el organismo absorbido sobre la materia particulada o disuelto en las gotas de agua presentes en la atmósfera. Asimismo, concentraciones elevadas de SO<sub>2</sub> y largos tiempos de exposición pueden causar daños severos a las plantas.

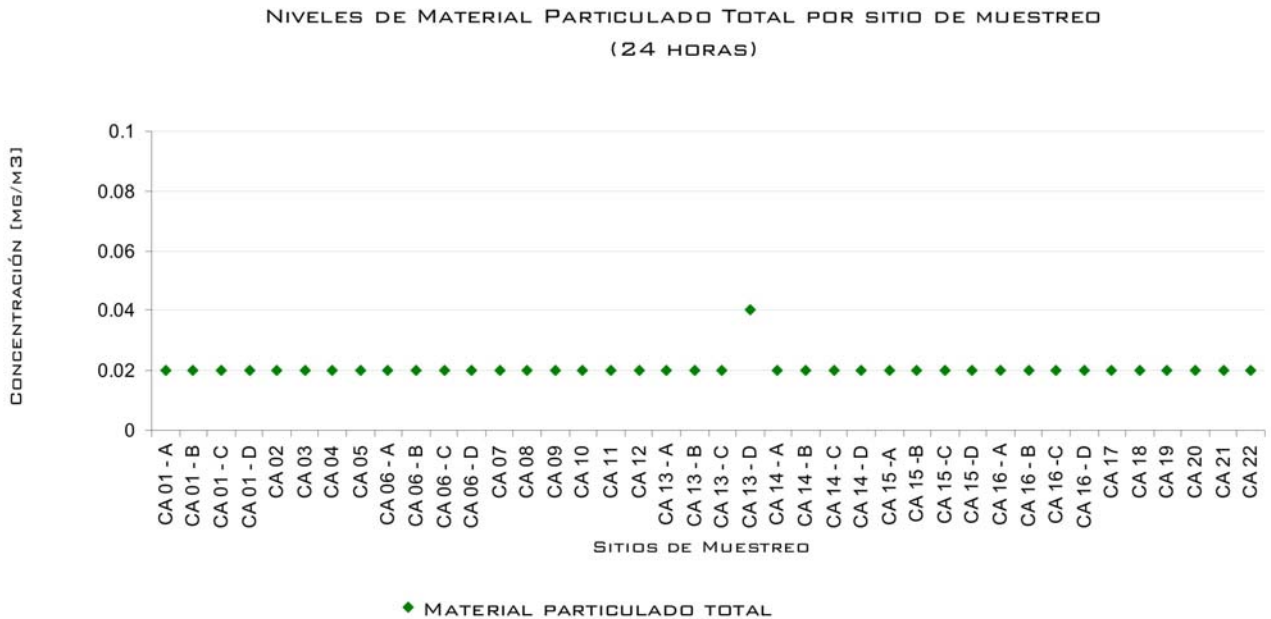


**Figura 37.** Niveles medidos de dióxido de azufre por concentración y sitio de muestreo.

### 1.2.4.3 Concentración de Material Particulado

Los niveles de material particulado total se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica utilizada que corresponde a 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>. De hecho, y en función de potenciar la determinación de este material en las muestras tomadas, se han medido niveles inferiores a éste, con un nivel razonable de especificidad.

Durante las visitas realizadas a la zona de estudio y de acuerdo a las observaciones generales de las condiciones del área, se ha podido percibir empíricamente la presencia de material particulado en el ambiente, si bien esto no se encuentra representado en los resultados de los muestreos. La razón de ello puede deberse al corto período de tiempo en el cual se han realizado los muestreos y las condiciones climáticas imperantes en ese plazo. O sea, es probable que la condición de nevasdas en la semana de toma de muestra haya influido sobre la deposición del particulado y por ende en la no determinación del mismo en las tomas correspondientes.

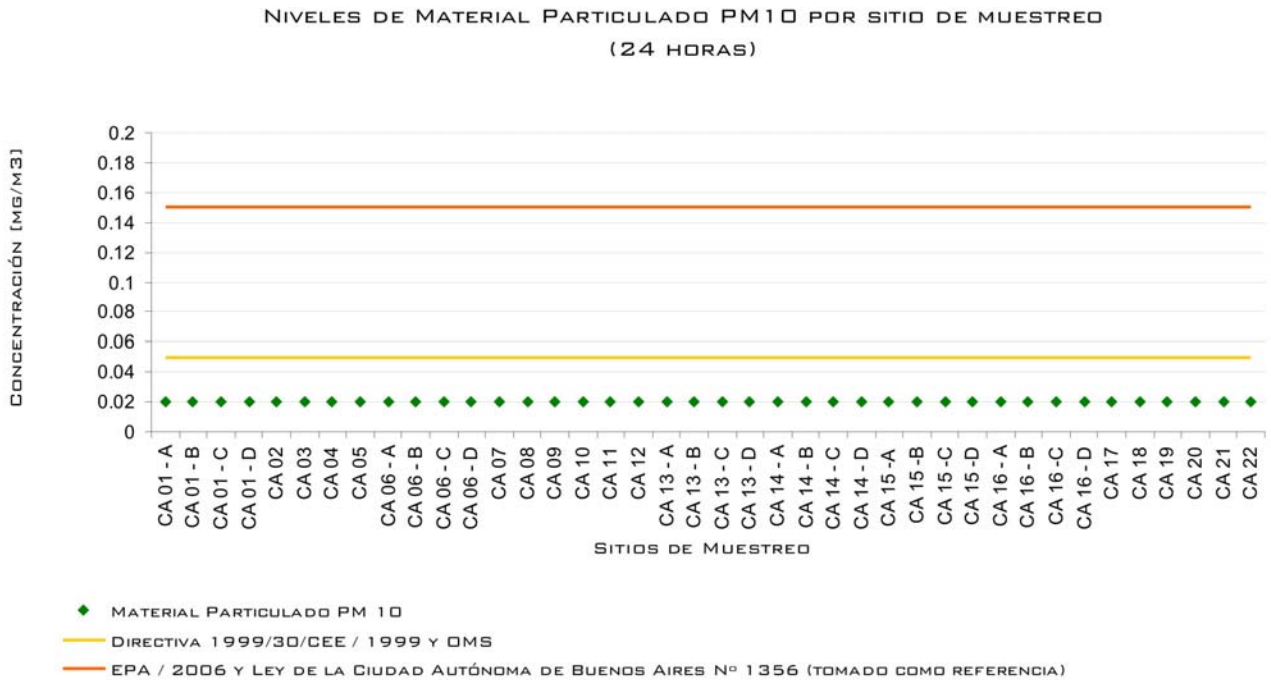


**Figura 38.** Niveles medidos de material particulado total por concentración y sitio de muestreo.

Respecto de las mediciones de PM10, se han identificado las mismas dificultades. De hecho, se entiende que el PM10 corresponde a una partición del MPT, por cuanto al no detectarse este último, resulta razonable no haber podido determinar niveles de PM10.

Para mejorar las determinaciones se procedió al ajuste de los niveles de detección, llegando a valores mínimos de  $0,02 \text{ mg/Nm}^3$ . Sin embargo, aún en estos rangos, las mediciones se encontraban por debajo del mismo.

Por otra parte, y a los efectos de llevar a cabo determinaciones representativas de diversos escenarios climáticos en la zona, al momento de la evaluación de las emisiones del proyecto se considerarán situaciones en las cuales el nivel de base de PM10 sea igual al valor guía de calidad. Este sería el peor escenario posible ya que indicaría que los niveles de base se encuentran en su valor máximo (saturado), no siendo posible la incorporación de mayores concentraciones devenidas de nuevo procesos industriales.



**Figura 39.** Niveles medidos de PM10 por concentración y sitio de muestreo.

Finalmente se han medido en 4 diferentes sitios los sólidos sedimentables durante un período de 30 días. Estos sólidos están constituidos por las partículas sólidas de tamaño comprendido entre los  $10$  y  $5 \times 10^2 \mu$ , por lo tanto es como el polvo grueso que tiene una velocidad de sedimentación apreciable y tiempo de permanencia en la atmósfera relativamente corto.

El límite máximo de concentración para estas partículas sedimentables establecido por la Ley Nacional N° 20284 (a la que adhiere la Provincia de Santa Cruz por Ley N° 1.313) es de  $1 \text{ mg/cm}^2$  durante un período de 30 días.

El resultado de las mediciones en los puntos Hostería Capipe, Hospital 28 de Noviembre, Mina N°1 (Gendarm. Aduana) y Gendarmería (pto San José) se muestra en la siguiente tabla.

Parámetros	Unidad	Hostería Capipe	Hosp. 25-Nov. 17:20hs	Mina n°1 (Gendarm. Aduana)	Gendarmería (pto San José)
Material part. Sed. soluble	$\text{mg/cm}^2 \times 30$ días.	< 0.1	0.1	0.2	< 0.1
Material part. Sed. insoluble	$\text{mg/cm}^2 \times 30$ días.	< 0.1	< 0.1	0.1	0.2

Como se observa, tanto el material particulado sedimentable soluble como el no soluble se encuentran por debajo del límite máximo establecido por la Ley N° 20.284 medidos durante un período de tiempo de 30 días.

### 1.2.5 Análisis de los resultados según la normativa chilena

Las normas chilenas que regulan respecto de la calidad del aire establecen los siguientes límites máximos admisibles para monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, PM10 y plomo:

Decreto N° 115/2002: Norma Primaria de Calidad de Aire para CO

- 9 ppmv o 10 mg/Nm<sup>3</sup> en 8 horas
- 1 ppmv o 30 mg/Nm<sup>3</sup> en 1 hora

Teniendo en cuenta que los resultados de este parámetro se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica analítica, o sea, menores a 0.05 mg/m<sup>3</sup>, se puede constatar que no se superan los límites establecidos por la normativa chilena.

Decreto N° 113/2002: Norma Primaria de Calidad de Aire para SO<sub>2</sub>

- 31 ppbv o 80 µg/Nm<sup>3</sup> en 1 año / 0.08 mg/Nm<sup>3</sup>
- 96 ppbv o 250 µg/Nm<sup>3</sup> en 24 horas / 0.25 mg/Nm<sup>3</sup>

Considerando que los resultados de este parámetro se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica analítica, o sea, menores a 0.05 mg/m<sup>3</sup>, no supera en ningún punto de medición los límites establecidos por la normativa chilena.

Decreto N° 113/2002: Norma Primaria de Calidad de Aire para NO<sub>2</sub>

- 53 ppbv o 100 µg/Nm<sup>3</sup> en 1 año / 0.1 mg/Nm<sup>3</sup>
- 213 ppbv o 400 µg/Nm<sup>3</sup> en 1 hora / 0.4 mg/Nm<sup>3</sup>

Debido a que todos los valores se han encontrado por debajo del límite de detección de la técnica analítica de 0.05 mg/m<sup>3</sup> no se observa la superación de los límites establecidos por la normativa chilena para el NO<sub>2</sub>

Decreto N° 59/1998: Norma Primaria de Calidad de Aire para PM<sub>10</sub>

- 150 mg/Nm<sup>3</sup> en 24 horas

Este parámetro ha resultado encontrarse por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada para su determinación, o sea, 0,02 mg/Nm<sup>3</sup>. En este sentido y considerando el límite máximo admitido por la normativa chilena se observa que el PM<sub>10</sub> no supera dicho valor.

Decreto N° 59/1998: Norma Primaria de Calidad de Aire para Plomo

- 0,5 µg/Nm<sup>3</sup> en 1 año / 0.005 mg/Nm<sup>3</sup>

Considerando que los resultados de plomo en el material particulado ha sido para todas las muestras tomadas menos o igual al límite de detección (0.00005 mg/m<sup>3</sup>) se puede aseverar que los niveles medidos para la caracterización de la línea de base ambiental no superan los parámetros establecidos por la norma chilena para el plomo.

## 1.3 GEOLOGÍA

### 1.3.1 Introducción

Con el fin de caracterizar geológicamente la comarca en la cual se localizan los sitios definidos como Alternativa 1 y Alternativa 2, se ha considerado relevar una zona mayor en la cual están contenidas ambas localidades y sus áreas adyacentes. La misma abarca, en forma aproximada, la cuenca superior del río Turbio desde la ciudad homónima hasta la localidad de 28 de noviembre.

El marco geológico general (Anexo I – Mapa I-4, Mapa I-5, Mapa I-6 y Mapa I-7) en el cual se sitúa la zona referida constituye parte de la provincia geológica definida como Cuenca Austral, la que en este sector se caracteriza por tener unidades clásticas de edad Cretácico superior, Terciario y Cuaternario.

La estratigrafía de la comarca se define por la presencia de sedimentitas cretácicas y terciarias que se disponen según una serie de formaciones cuyos componentes clásticos se depositaron en ambientes diversos tales como marino somero, continental fluvial de energía variable y palustre. Por su parte, las unidades de edad cuaternaria pleistocena son de génesis glaciaria y apoyan en discordancia sobre un paisaje irregular que fue excavado previamente sobre las sedimentitas precedentes. Sobre todas las unidades indicadas se localizan las acumulaciones más modernas de edad holocena, depositadas en ambientes fluviales y derivadas de movimientos de remoción en masa.

La estructura que presenta la secuencia clástica referida se debe fundamentalmente a la acción de la orogenia andina, la que deforma a la totalidad de las sedimentitas cretácicas y terciarias dando lugar, en la cuenca del río Turbio, a una estructura del tipo homoclinal, de rumbo general meridional que presenta algunas variaciones locales, mayoritariamente al Oriente de la cuenca, las que no llegan a sobrepasar el valor de Norte 30° Este. El referido homoclinal tiene inclinaciones que oscilan entre los 20° y los 5° hacia el Este. La deformación referida se atenúa en los sectores situados al Oriente, comarcas en las cuales las unidades formacionales mesozoicas y cenozoicas se acercan a la horizontalidad. Considerando un análisis regional, la indicada estructura homoclinal constituye en realidad el ala oriental de un anticlinal cuyo eje y ala occidental se desarrollan en Chile. Por su parte, las estructuras de fallamiento que acompañan al plegamiento descrito, no son de importancia significativa.

La evolución geomórfica muestra un intenso grado de subordinación al control estructural, el que se manifiesta claramente según un paisaje de cuevas y mesetas labrado inicialmente por el proceso fluvial. Sobre esta morfología de base se desplazaron glaciares que dieron lugar a la formación de un paisaje glaciogénico, especialmente representado mediante formas de acumulación, sobre todo en la sección Este de la cuenca del río Turbio. Otras geofomas recientes son las fluviales postglaciales y las relacionadas con movimientos de remoción en masa, ambientes estos que se erigen como los de mayor relevancia en cuanto a la peligrosidad geológica detectada en la comarca.

A continuación se describen en forma general las unidades formacionales, las estructuras, la geomorfología y la peligrosidad geológica que están presentes en la cuenca superior del río Turbio y que enmarcan y contienen a las áreas de estudio de detalle correspondientes a las alternativas 1 y 2.

## **1.3.2 Geología correspondiente a la cuenca superior del río Turbio. Marco geológico general que contiene a las alternativas 1 y 2**

### **1.3.2.1 Estratigrafía**

La sucesión clástica que aflora en la zona de estudio general se extiende temporalmente desde el Cretácico superior hasta el Cuaternario. A continuación se describen las características más sobresalientes que presentan cada una de las formaciones aflorantes, desde las unidades basales más antiguas a las más modernas.

#### Cenozoico. Paleógeno. Eoceno. Formación río Turbio (Feruglio, 1938)

Sus afloramientos más destacados se localizan en la margen Este del Arroyo Santa Flavia, margen Sur del arroyo San José y ambas márgenes del río Turbio antes de su conexión con el arroyo San José. La ciudad de río Turbio está situada sobre esta formación (Figura 40).

Esta secuencia se integra de una serie de bancos fosilíferos en los que están presentes areniscas finas y gruesas, parcialmente conglomerádicas, pelitas, coquinas y mantos de carbón (Hunicken, 1955). Estas unidades clásticas se depositaron alternadamente en ambientes de sedimentación continental y marinos costaneros. El espesor máximo es de aproximadamente 600 m y su edad es Eoceno medio a Eoceno superior (Malumian y Panza, 2000).

Esta formación se destaca debido a que en ella se localizan niveles de carbón que fueron agrupados en dos complejos: el Complejo Carbonoso Inferior y el Complejo Carbonoso Superior, el que es portador de los mantos de carbón productivos.

La estructura dominante que afecta a esta formación es la de un homoclinal de desarrollo regional y rumbo general meridional. Hacia el Este la estructura pierde inclinación y pasa transicionalmente a una posición subhorizontal. Por su parte las estructuras de fallamiento son de orden menor, mínimo rechazo y poco significativas.

En la base de esta secuencia se sitúa la Formación Cerro Dorotea, que aflora inmediatamente al Oeste de zona relevada. El análisis de este contacto por parte de Steinmann (1883) lo llevo a postular la existencia de un hiato. Posteriormente Brandmayr (1945) y Hunicken (1955) consideraron en cambio que entre ambas formaciones hay un pasaje transicional. Recientemente Malumian y Carames (1997), sobre la base de estudios micro paleontológicos han confirmado la existencia de una discordancia entre ambas



**Figura 40.** Afloramientos pertenecientes a la Formación río Turbio. En la escena se pueden observar los afloramientos existentes en la cumbre y en el frente de la cuesta sobre la que esta situada la ciudad de río Turbio.

Cenozoico. Paleógeno. Eoceno superior. Formación río Guillermo (Hunicken, 1955; Leanza, 1972)

Esta unidad se apoya en forma discordante sobre la Formación río Turbio. Sus afloramientos se sitúan en la sección inferior del arroyo Dorotea, sobre ambas márgenes del río Turbio en las cercanías de Julia Dufour y en secciones de los arroyos Alicia y Pata Caballo. Desde la base al techo se extiende una sucesión de bancos de granulometría decreciente que va desde un paquete basal de 80 m de potencia compuesto de un conglomerado con troncos silicificados, que hacia el techo grada a areniscas gruesas, areniscas medianas, limolitas, arcillitas y niveles de carbón.

Esta secuencia de bancos de granulometría variable se deposita en un ambiente continental fluvial, inicialmente de alta energía, tal como lo indican sus términos basales. El espesor total máximo reconocido es de 340 m y su edad es Eoceno superior (Malumian y Panza, 2000).

Cenozoico. Paleógeno. Eoceno superior - Oligoceno inferior. Formación río Leona (Malumian y Panza, 2000)

Danderfer, (1981) definió a la Formación La Escondida según dos unidades, la inferior depositada en un ambiente continental y la superior acumulada en un medio marino. Esta unidad fue posteriormente separada por Malumian y Panza (2000) quienes formalizaron a la unidad continental como Formación río Leona y a la marina como Formación Centinela, criterio que ha sido adoptado en este estudio.



La Formación río Leona aflora en forma muy saltuaria al Este del río Turbio entre el poblado de Julia Dufour y la localidad 28 de Noviembre. Apoya en relación discordante sobre la Formación río Guillermo, desarrollando un espesor general de 203 m en el arroyo Oro. Desde ese contacto hacia el techo se extiende un conglomerado basal de 10 m de potencia que continua con areniscas medianas y finas, tobas, areniscas, arcillitas carbonosas y niveles de carbón.

El ambiente de sedimentación es del tipo continental de variable energía que grada desde fluvial relacionado con cursos de hábito entrelazado a pantanos y lagunas. La edad asignada para esta unidad es Eoceno superior - Oligoceno inferior (Olivero y Malumia, 1999).

#### Cuaternario - Pleistoceno. Depósitos glaciares

La primera mención y mapeo sobre las acumulaciones glaciogénicas presentes en esta región fue realizada por Caldenius (1932). En ese estudio, los depósitos glaciares fueron ordenados en cuatro sistemas morénicos y sus glaci-fluviales asociados. Desafortunadamente este autor estableció una errónea telecorrelación entre los 3 sistemas internos con las sub-épocas según las cuales De Geer (en Caldenius 1932) dividió la época del retroceso del hielo escandinavo durante la Última Glaciación. De esta forma relacionó incorrectamente a estos 3 sistemas morénicos con las eras que denominó Daniglacial, Gotiglacial y Finiglacial respectivamente. Al sistema de morenas más externo, y por analogía con el término Finiglacial, Caldenius (1932) lo denominó Inicialglacial.

De acuerdo a este esquema, los tres primeros sistemas indicados se sincronizan con avances (estadios o etapas) que tuvieron lugar durante el retroceso de la última glaciación en la península escandinava. Esta situación implicaría para los tres estadios indicados edades que van de los 20.000 A.P. a los 10.000 A.P., razón por la cual todos ellos corresponderían a la Última Glaciación. Por su parte, el cuarto estadio correspondería a una glaciación anterior a la última. De esta forma Caldenius (1932) considero que los cuatro sistemas indicados representaban solamente a dos glaciaciones. Como se indico, estas edades propuestas por Caldenius (1932) han resultado ser equivocadas y, si bien los límites morénicos establecidos por este autor están aproximadamente bien delineados a rasgos generales, actualmente se considera que las glaciaciones que ocurrieron en la cordillera patagónica fueron como mínimo seis (Malagnino, 1995), y sus edades se extienden desde los 7 Ma a los 12.000 A.P.

En la zona de estudio, las referidas glaciaciones dejaron una serie de acumulaciones glaciares, glaci-fluviales y glaci-lacustres de notable desarrollo. Sin embargo, en esta comarca la correcta separación entre los sistemas morénicos correspondientes a cada glaciación resulta ser sumamente compleja debido a la falta de continuidad e intrincado diseño que presentan. A pesar de esta circunstancia se puede establecer que, de acuerdo con las evidencias relevadas, salvo la última glaciación y probablemente la penúltima, todas las restantes se desplazaron cubriendo la totalidad de la zona analizada. Por esta razón, la mayor parte de la misma está tapizada por acumulaciones glaciares de naturaleza compleja. El conocimiento de estas acumulaciones adquiere una importancia relevante ya que constituyen elementos de pendiente que, por sectores, mantienen una elevada inestabilidad, la que ha dado lugar a numerosos movimientos de remoción en masa de variada tipología.

Como consecuencia del estudio realizado, se puede determinar que la primera, segunda, tercera y cuarta glaciación, al desplazarse por esta comarca la cubrieron por completo aunque no llegaron a superar a la Meseta La Torre, situada al Este de la zona investigada. Al chocar contra ella dejaron sobre su pendiente Occidental una serie de acumulaciones relacionadas con sistemas morénicos integrados por varias crestas marginales e interlobulares claramente reconocibles.

Debido a la particular dinámica que tuvo el desplazamiento de los lóbulos de hielo desde el Oeste, sobre las pendientes del valle del río Turbio se acumularon una serie de morenas marginales recesionales integradas de till compuesto, mientras que sobre la totalidad de la sierra Dorotea y las restantes mesetas y cuevas de la comarca, se depositaron en forma mayoritaria los componentes clásticos correspondientes a un till alojado relacionado con morenas basales (Figura 41).

Los depósitos correspondientes a las crestas morénicas señaladas, especialmente las situadas en las secciones intermedias y superiores de la pendiente del valle del río Turbio, son de naturaleza compleja ya que se componen de acumulaciones de till alojado, till de flujo y till de ablación, glactectonizados y mezclados con acumulaciones glaciafluviales y glacialacustres severamente deformadas por empuje glaciario (Figura 42). Hacia el nivel inferior de la pendiente, se desarrollan planicies glaciafluviales y acumulaciones glacialacustres, las que en algunas localidades apoyan sobre till de diferente tipo.

Desde el punto de vista dinámico, los depósitos relacionados con las crestas morénicas se acumularon por avances oscilantes del frente de hielo que sobrecorrieron y adosaron anteriores acumulaciones de till de variada tipología, con depósitos de planicie glaciafluvial y acumulaciones lacustres.



**Figura 41.** Morena basal con exposición de bloques.



**Figura 42.** Till complejo integrado por facies de till alojado, depósitos glacifluviales y acumulaciones glacialacustres deformadas y mezcladas por empuje glaciario. Por encima de una superficie erosiva (aterrazamiento) se disponen acumulaciones glacifluviales que definen ambientes de energía variable, en general creciente hacia la sección superior, nivel en donde comienzan a observarse bancos de gravas gruesas.

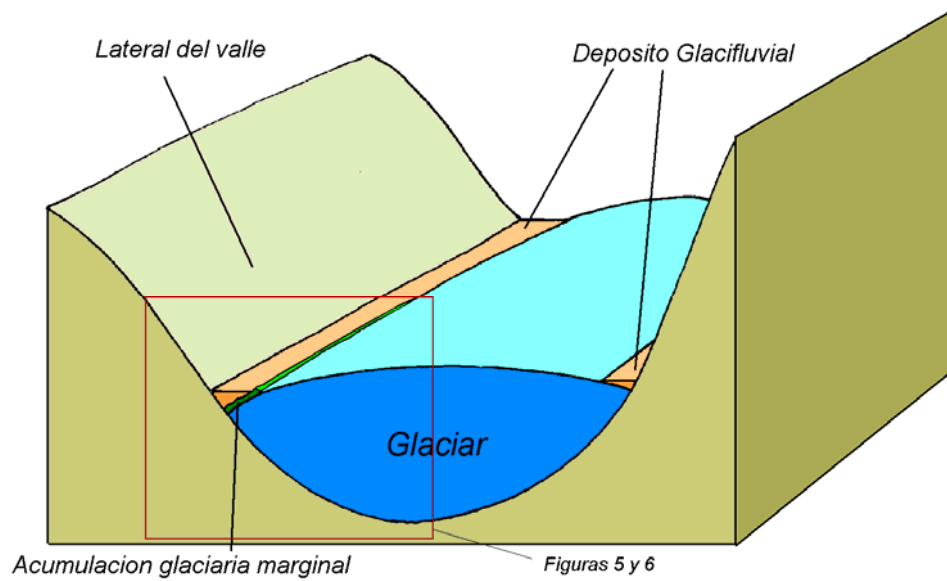
#### Cuaternario. Pleistoceno. Depósitos de terraza. Acumulaciones glacifluviales y glacialacustres indiferenciadas

Las acumulaciones glacifluviales y glacialacustres tienen un notable desarrollo en la cuenca del río Turbio. Se presentan como secuencias clásticas de granulometría variable, con tamaños que van desde limos arcillosos, arenas finas, medianas y gruesas, hasta gravas gruesas. Estos depósitos se sitúan en dos ambientes principales:

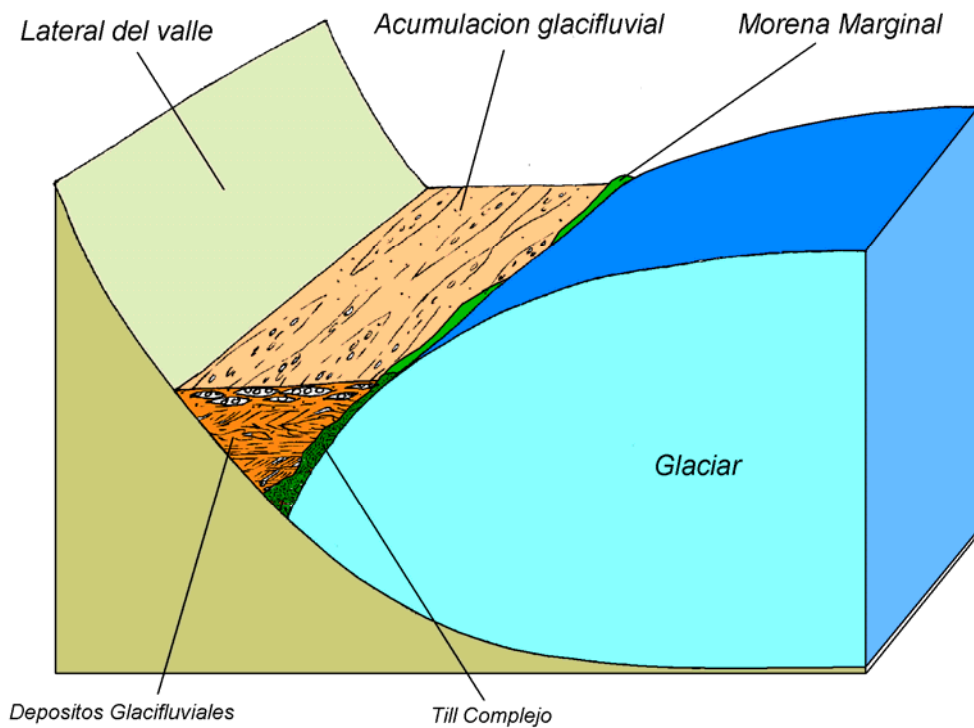
- a) Relacionados con terrazas *Kame*, sobre las pendientes intermedias de los valles
- b) Relacionados con terrazas y planicies glacifluviales y glacialacustres, en los sectores inferiores de las pendientes, especialmente en el piso de los valles

**a) Relacionados con terrazas *Kame*:** Se trata de arenas y gravas que se depositaron entre la pendiente del valle y las acumulaciones morénicas marginales del glaciar que se desplazaba por el. Por esta causa, desde el punto de vista geomórfico, son terrazas del tipo *Kame*. La Figura 43 ilustra cual era la situación general de la lengua de hielo que ocupaba al valle y la disposición de las acumulaciones glaciarias y glacialacustres.

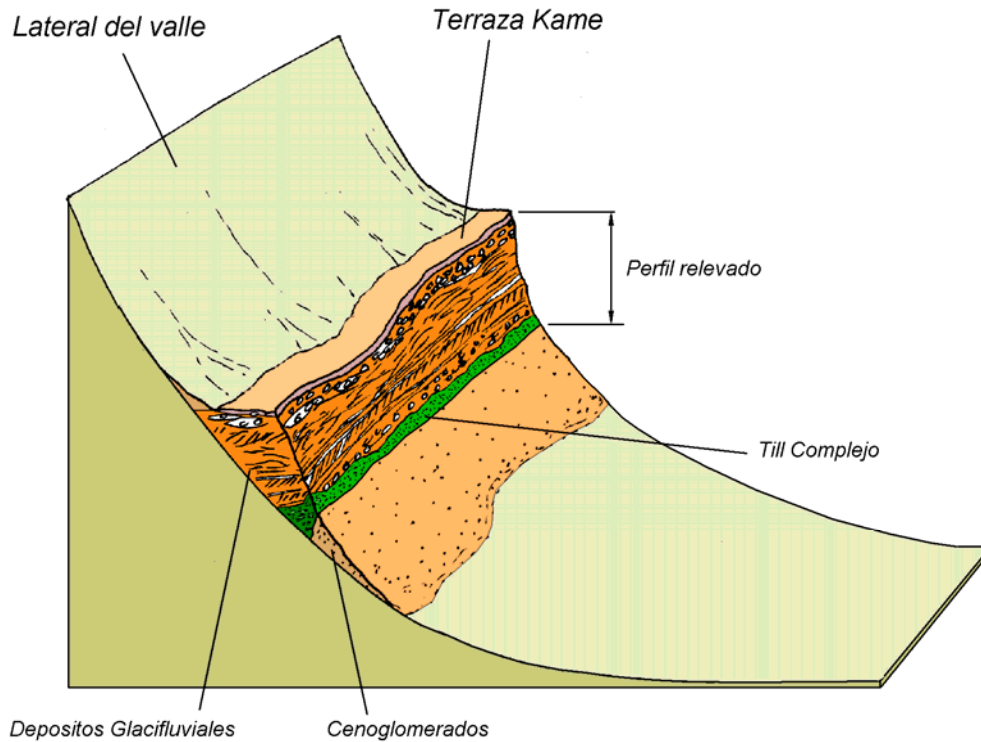
En la Figura 44 se muestra una ampliación de un sector de la figura anterior, mientras que en la Figura 45 se ilustran las características que este sector tuvo luego del retiro del glaciar.



**Figura 43.** El recuadro en línea roja indica la zona representada en las figuras 5 y 6.



**Figura 44.** Detalle de la Figura 43. Marginalmente al glaciar se extienden las acumulaciones glaciales (Till Complejo, en color verde) y las acumulaciones glaciales, según secuencias clásticas de diversa granulometría, entre las que se interestratifican niveles lacustres.



**Figura 45.** Muestra las variaciones que tienen lugar en el sector ilustrado en la Figura 5 luego del retiro del glaciar. Parte del Till y de la acumulación glacifluvial han colapsado a partir de movimientos de remoción en masa (cenoglomerados) por la pérdida del soporte que proporcionaba el glaciar, exponiendo a la secuencia.

Las características estructurales de esta secuencia clástica, así como su granulometría, pueden ser claramente observadas en los cortes artificiales que se localizan en diversas canteras, desde donde se realizan extracciones de áridos. Por ejemplo, en la cantera situada sobre el lateral Oeste del valle del río Turbio, en las cercanías del límite Norte de la ciudad de 28 de Noviembre, se observa una acumulación de gravas y arenas de variable granulometría que alcanzan un espesor total de 20 metros. En esta localidad, situada en las coordenadas S 51° 34'46" y W 72° 12' 50", se levanto un perfil de detalle desde el techo a la base, en el que se describen las características que presenta esta acumulación glacifluvial:

**SECCION SUPERIOR DEL PERFIL:** La exposición comienza con un nivel de suelo (Figura 46) de entre 40 y 50 cm de espesor, color pardo oscuro, integrado por limos y arenas finas, entre las que se observan algunos clastos aislados de gravas de hasta 5 cm de diámetro.



**Figura 46.** Nivel de suelo, sobreyaciendo una densa acumulación de gravas.

Por debajo del suelo se extiende un conglomerado según un banco masivo de espesor variable, con una potencia máxima de 6 m. Se compone de gravas gruesas, medianas y finas (Figura 47). Las gravas son subredondeadas, de petrografía variable, en general de naturaleza exótica ya que provienen de rocas que afloran en el área andina situada al Oeste de esta localidad. Los clastos alargados y aplanados se disponen según una estructura imbricada que define corrientes tractivas hacia el cuadrante Sur.



**Figura 47.** Conglomerado de gravas gruesas, medianas y finas. Por debajo del suelo color pardo oscuro superior, comienza una acumulación de gravas finas y medianas que hacia abajo gradan a gravas gruesas. El bandeamiento mas claro que se observa, especialmente en el sector inferior, se debe a la presencia de niveles con mayor grado de cementación carbonática.

Las gravas de mayor tamaño se localizan en la zona central del paquete y llegan a tener un tamaño máximo de 20 cm de diámetro, mientras que las fracciones granulométricas más abundantes tiene diámetros de entre 10 y 5 cm de diámetro. Por su parte las gravas de menor tamaño tienen un diámetro medio de 0,5 cm (Figura 48). La estructura es del tipo clasto sostenido con una matriz arenosa.



**Figura 48.** Detalle del conglomerado.

El conglomerado presenta una tenacidad diferencial al alternar niveles con buena cementación carbonática con otros de baja coherencia en los cuales el cemento está ausente. Esta característica da lugar a un bandeamiento gris claro en las zonas cementadas (Figura 47 y Figura 49).



**Figura 49.** Bandeamiento por cementación carbonática diferencias.



El medio de acumulación de estos bancos fue del tipo glacifluvial, con corrientes tractivas de alta energía, y donde los causes presentaban un hábito entrelazado.

SECCION INTEMEDIA DEL PERFIL: Subyaciendo al banco de gravas se desarrolla una acumulación de 6 m de potencia con bancos de arenas gruesas, medianas, finas y limos subordinados, que presentan una estructura de acumulación variable desde planar, entrecruzada en cubeta, entrecruzada planar y diagonal (Figura 51).



**Figura 50.** En el tope de la columna se observa la base del banco de gravas. Hacia abajo se extienden 6 m de bancos arenosos.

Estas estructuras, desde el techo a la base, definen ambientes de acumulación fluviales (sección superior) a deltaícos (base de la secuencia).

**SECCION BASAL DEL PERFIL:** Por debajo de las arenas descritas continúan una serie de bancos de conglomerados que se alternan con bancos de arenas gruesas con lentes de conglomerado (Figura 51).



**Figura 51.** Alternancia de bancos de conglomerados y bancos de arenas gruesas con lentes de gravas.

**b) Relacionados con terrazas y planicies glaciafluviales y glacialacustres.** En los sectores más bajos y orientales, entre las cotas de los 300 m y 250 m, se desarrollan niveles aterrizados de origen glaciafluvial. Durante la Última Glaciación, el primer reavance glaciario produjo el endicamiento del valle superior del Río Turbio generando un gran lago. Con tres pulsos de esta glaciación se asocian tres planicies glaciafluviales aterrizadas.

En las proximidades a la ciudad de 28 de Noviembre, las terrazas alcanzan cotas de 300 y 290 y 270 m, unos 100 a 70 m por encima de la llanura aluvial actual del Río Turbio. En cortes que afectan a las terrazas, afloran depósitos glaciafluviales (Figura 52) y glacialacustres que tienen granulometrías que varían desde gravas gruesas, arenas gruesas y medianas, hasta limos y arcillas. Los depósitos glaciafluviales tienen bancos de arenas gruesas interestratificados con lentes de conglomerados, características que se relacionan con sistemas fluviales de alta energía y canales de habito entrelazado. En cambio, los depósitos glacialacustres se presentan como secuencias de varves de espesor considerable. Estas acumulaciones fueron depositadas en el ámbito de un gran lago generado por el bloqueo del valle del Río Turbio, probablemente durante el primer reavance glaciario de la Última Glaciación.



**Figura 52.** Acumulaciones glaciafluviales según un corte longitudinal al flujo tractivo.

#### Cuaternario. Holoceno. Depósitos de terraza inferior. Depósitos de planicie aluvial

Se localizan en varios ambientes: los más desarrollados corresponden a los que están presentes sobre las terrazas inferiores y más cercanas a los cursos fluviales, le siguen los relacionados con las planicies de inundación de los ríos y arroyos de mayor entidad y finalmente los asociados con conos aluviales de ríos tributarios de importancia menor.

Los depósitos de terraza inferior tienen granulometrías variables que van desde gravas gruesas, medianas y finas a arenas, limos y, eventualmente, arcillas, destacándose que las granulometrías dominantes en los cortes observados son las arenas y limos, mientras que las gravas se localizan en la base de las exposiciones.

Las mejores manifestaciones de estas acumulaciones pueden observarse en los cortes fluviales que el río Turbio labro sobre ellas (Figura 53, Figura 54 y Figura 55).



**Figura 53.** Acumulaciones de nivel de terraza inferior expuesta por el corte fluvial del río Turbio.



**Figura 54.** Granulometrías y estructuras presentes en un corte fluvial de 3 m de potencia sobre acumulaciones de terrazas a lo largo del río Turbio. Nótese el cambio en la energía de corriente desde la base (gravas gruesas imbricadas) hacia el techo (arenas medianas, finas y limos con estratificación diagonal y entrecruzada en cubeta)



**Figura 55.** Afloramiento de las acumulaciones de terraza aluvial integrada de arenas y limos con estratificación entrecruzada, situada en el curso fluvial del río Turbio, aguas arriba de su confluencia con el arroyo San José. Nótese el contraste entre estas acumulaciones y las correspondientes a la planicie aluvial, mayoritariamente integrada por gravas gruesas, medianas y finas.

Por su parte, las acumulaciones de planicie aluvial alcanzan el mejor desarrollo a lo largo del río Turbio aunque, con menor presencia, también se las observa en los cursos fluviales de menor entidad. Se destaca que solo en el río Turbio están presentes las gravas, con granulometrías que van desde gruesa a fina, situación que cambia parcialmente a partir de su confluencia con el arroyo San José, sitio a partir del cual se incrementa la participación de materiales clásticos carbonosos que provienen del emprendimiento minero y son transportados fluvialmente por este último curso fluvial (Figura 56).

De acuerdo a lo observado en los cortes que el río Turbio labra sobre las acumulaciones de terraza inferior, se verifica que gran parte de las gravas que tiene su planicie de inundación provienen de la erosión de las gravas basales de esas acumulaciones.



**Figura 56.** Depósitos de planicie de inundación del río Turbio en el cruce con la ruta 293, cercanías de Julia Dufour. En el primer plano, en zonas aledañas al cauce activo se observan acumulaciones de carbón de granulometrías finas, aportadas por el arroyo San José y provenientes del yacimiento minero. En el segundo plano se observan las gravas gruesas trasladadas por el río Turbio durante los periodos de creciente.

#### Cuaternario. Holoceno. Depósitos de remoción en masa

Tienen una notable presencia en la mayor parte de la comarca relevada. Se sitúan preferencialmente sobre las pendientes de los valles principales, especialmente las que marginan al río Turbio y a los arroyos San José y Santa Flavia.

Son acumulaciones de diversa granulometría, característica que depende de cuál fue el tipo litológico y/ o acumulación del que provinieron y cuál fue la tipología del movimiento gravitacional que les dio origen. Las granulometrías de mayor tamaño, en las cuales participan arenas y bloques, algunos de desarrollo métrico, se relacionan con las unidades formacionales de edad cretácica y terciaria que fueron afectadas por movimientos de remoción en masa del tipo asentamiento rotacional, deslizamiento traslacional y expansiones laterales.

Por su parte, las acumulaciones del tipo cenoglomerados, en las cuales se observan bloques, arenas, limos y arcillas abundantes, se asocian con movimientos del tipo avalancha de rocas y/o suelo, y flujos parcialmente encauzados y encauzados provenientes de antiguos depósitos morénicos que estaban precariamente apoyados sobre las pendientes principales.

Esta característica se puede observar en la (Figura 57), en el borde de terraza aluvial que se sitúa en las cercanías de la planta de transmisión radial AM 620 (S 31° 51' 52" – W 72° 15' 28").



**Figura 57.** Corte de terraza fluvial del río Turbio en el cual se puede observar desde la base al techo una acumulación de gravas imbricadas sobre las cuales se extiende un banco masivo sin estructura visible, compuesto de limos y arcillas y porcentaje menor de arenas finas, de 1.5 m de espesor, en el cual están incluidos restos de troncos. Este banco subyace un depósito de arenas finas y medianas con estratificación diagonal y entrecruzada en cubeta. El referido banco masivo con troncos es un cenoglomerado relacionado con un flujo encauzado (Torrente de barro) que se desplazó por el piso del valle del río Turbio agradándolo parcialmente.

### 1.3.2.2 Estructura

La estructura principal de la comarca analizada corresponde a la de un homoclinal de rumbo general meridional, con valores de inclinación al Este que no sobrepasan los 20°. Esta estructura plegada corresponde en realidad al ala de un amplio anticlinal cuyo eje y ala occidental se desarrollan al Oeste en territorio chileno. La estructura presente en territorio argentino varía progresivamente su inclinación hacia el Este de tal forma que en la margen Oriental del área relevada las inclinaciones raramente sobrepasan los 7°. Incluso en este sector se desarrollan varios ejes de anticlinales y sinclinales, en los cuales las alas presentan inclinaciones muy suaves.

Por su parte, las estructuras de fracturación tienen poco desarrollo. Malumian y Panza (2000) indican la presencia de una falla cubierta situada a lo largo del arroyo San José, desde el Hito 79 hasta el lago del Dique, de rumbo N 60° Oeste. Fallas menores con rechazos que van desde los 3 m a los 10 m fueron reconocidas en las labores del yacimiento río Turbio.

### 1.3.2.3 Geomorfología

#### Introducción

Luego de la elevación tectónica andina, la secuencia clástica que se localiza en la cuenca del río Turbio comenzó a ser erosionada por un vigoroso ciclo fluvial, el que labró los sistemas de valles rectores principales que se observan actualmente. Esta evolución fluvial ancestral estuvo intensamente controlada por la estructura y las características sedimentológicas de las formaciones geológicas erosionadas. Posteriormente, la región fue afectada por una serie de 7 glaciaciones e interglaciaciones que modificaron parcialmente las características geomórficas previas, aunque los lineamientos principales del paisaje permanecieron con pocos cambios. Con el retiro de la última glaciación, la evolución del paisaje fue dirigida fundamentalmente por dos procesos: el fluvial, que transformó especialmente el piso de los valles principales al generar niveles de terrazas y planicies de inundación, y la remoción en masa que modificó las pendientes de los valles.

De esta forma, como resultado de la evolución geomórfica referida, han quedado evidencias de cada una de las etapas referidas, situación que permite reconocer cuatro unidades principales de paisaje: Paisaje Estructural, Paisaje Glacigenico, Paisaje de remoción en Masa y Paisaje Fluvial Postglacial.

Sus descripciones se realizan a continuación.

#### Paisaje Estructural

La geomorfología que está presente en la comarca muestra un fuerte control estructural, el que está claramente asociado con la secuencia cretácica-terciaria y la deformación que a esta le imprimió el tectonismo.

La existencia de bancos resistentes alternando con otros de menor tenacidad y la disposición estructural que adoptan, desde un homoclinal al Oeste hasta una disposición subhorizontal al Este, dio lugar a un paisaje de Cuestas y Mesetas respectivamente.

Las cuestas son rápidamente reconocidas por la asimetría que este tipo de forma le confieren a cada unidad serrana considerada, la que tiene una pendiente de inclinación tendida al Este y abrupta en el Oeste. En las cuestas identificadas se pueden establecer claramente tres aspectos característicos:

- El **Reverso**, que es la pendiente Oriental controlada por el banco duro y cuya evolución está regida por procesos fluviales y, eventualmente, remoción en masa según movimientos rápidos del tipo deslizamiento traslacional.
- El **Frente**, que es la pendiente Occidental abrupta, regulada fundamentalmente por procesos de remoción en masa y, en forma secundaria, por procesos fluviales
- La **Cumbre** o **Cresta** superior, que representa la divisoria de aguas local

Entre las cuestas más importantes y representativas se destacan la que sirve de fundación para la planta urbana de la ciudad de río Turbio, y la que se localiza al Norte de esta. Analizada la primera en detalle, se determina que la ciudad fue construida sobre el Reverso de la cuesta, superficie controlada en su inclinación por el banco duro, mientras que en el borde Norte y Oeste se extiende la Cumbre o Cresta, aspecto que limita el crecimiento urbano en estas direcciones (Figura 58). Esta última geoforma también puede observarse claramente en la siguiente cuesta localizada al Norte de la ciudad, en la cual la Cumbre o Cresta oficia además de límite con Chile. Finalmente, hacia el Oeste de ambas crestas se desarrolla la abrupta pendiente del Frente.



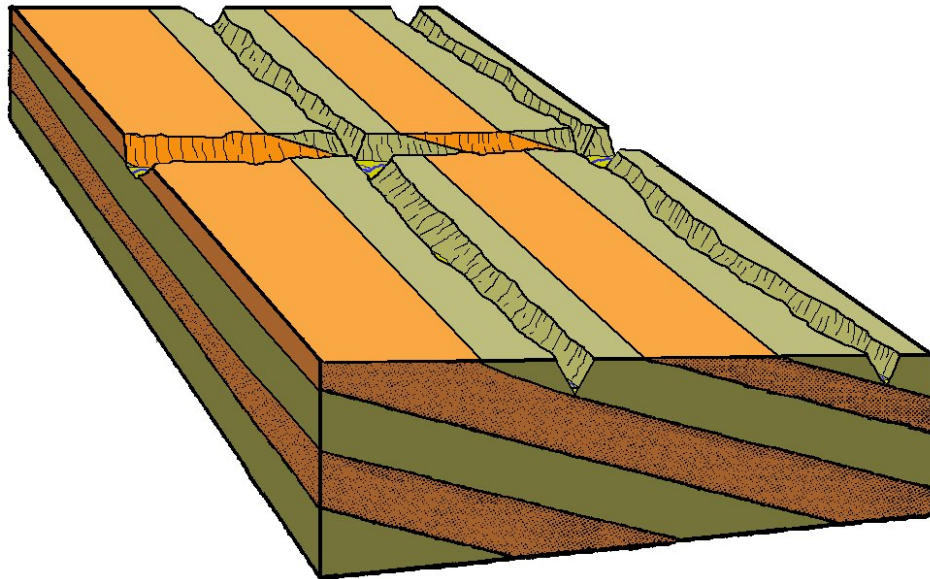


**Figura 58.** Paisaje de cuestras. En primer plano se observan los afloramientos de bancos duros pertenecientes a la Formación río Turbio que constituyen la cresta de la cuestra, la que en esta fotografía presenta un rumbo general Norte-Sur. Hacia la derecha de esta geoforma se extiende una pendiente suave de aproximadamente  $17^{\circ}$  regulada por el ángulo de inclinación del banco duro controlante, superficie que es definida como el reverso de la cuestra y sobre la cual se sitúa la ciudad de río Turbio. Hacia la derecha de la cresta la pendiente desciende en forma abrupta desarrollándose sobre la secuencia clásica el frente de la cuestra. Esta última pendiente está regulada mayoritariamente por movimientos de remoción en masa del tipo asentamiento rotacional y caída de rocas, mientras que sobre el reverso son más abundantes los deslizamientos traslacionales. Hacia el Norte, más allá de la planta urbana se observa una segunda cresta sobre la cual se extiende el límite internacional.

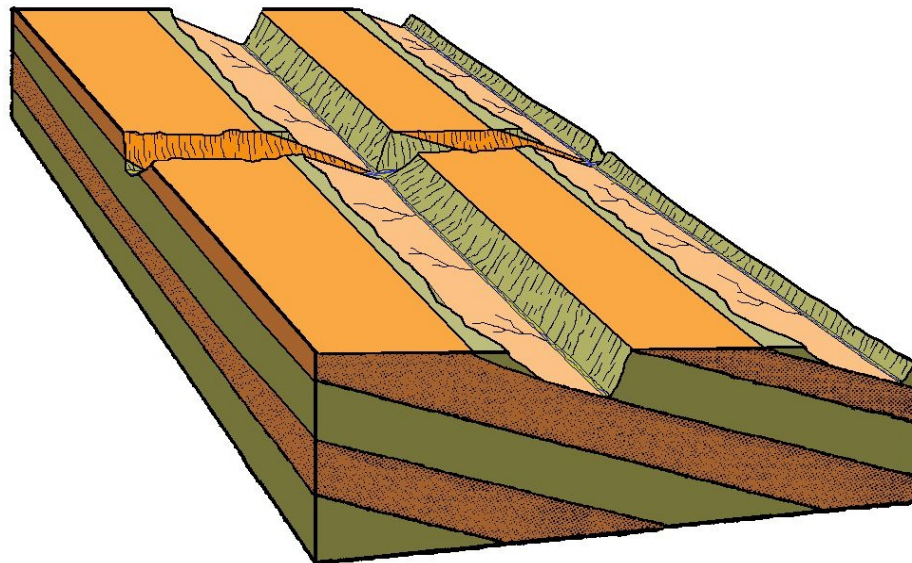
El Reverso y el Frente de cada cuestra evolucionan bajo la acción de procesos geológicos similares pero que actúan con diferente magnitud en cada caso.

Por ejemplo, el Reverso es el resultado de la acción de un río que progresivamente se desplazo lateralmente sobre un banco duro superior controlable, a medida que se profundizaba el relieve. Esta situación, que se conoce con el nombre de migración homoclinal, da lugar a un paisaje de cuestras en el cual los valles principales que han migrado lateralmente son de rumbo (paralelos al rumbo de la estructura plegada) y muestran una directa concordancia entre la inclinación de uno de sus laterales con la que tiene la estructura. De esta forma, el proceso rector en la evolución de esta pendiente controlada por el banco duro es el fluvial, aunque eventualmente pueden ocurrir movimientos de remoción en masa del tipo deslizamiento traslacional.

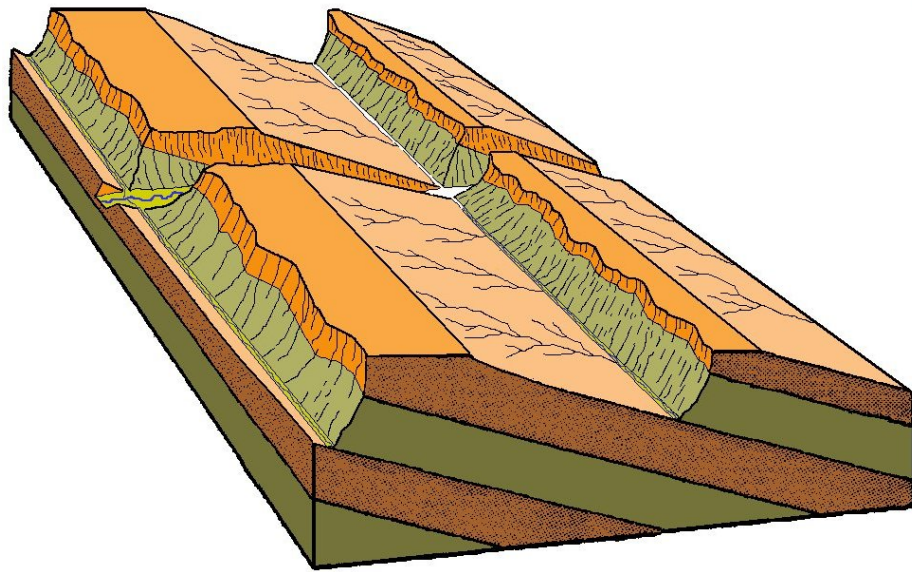
Este desplazamiento del curso fluvial en la dirección de inclinación de la secuencia da lugar a un permanente corte de pie de pendiente en la margen opuesta del valle. De esta forma, se generan en esta última condiciones de inestabilidad que favorecen persistentemente movimientos de remoción en masa del tipo Caída de Rocas y Deslizamientos Rotacionales, participando la erosión fluvial en forma secundaria al ser abortada por los desplazamientos gravitacionales. Las Figura 59, Figura 60, Figura 61 y Figura 62 ejemplifican las etapas evolutivas referidas.



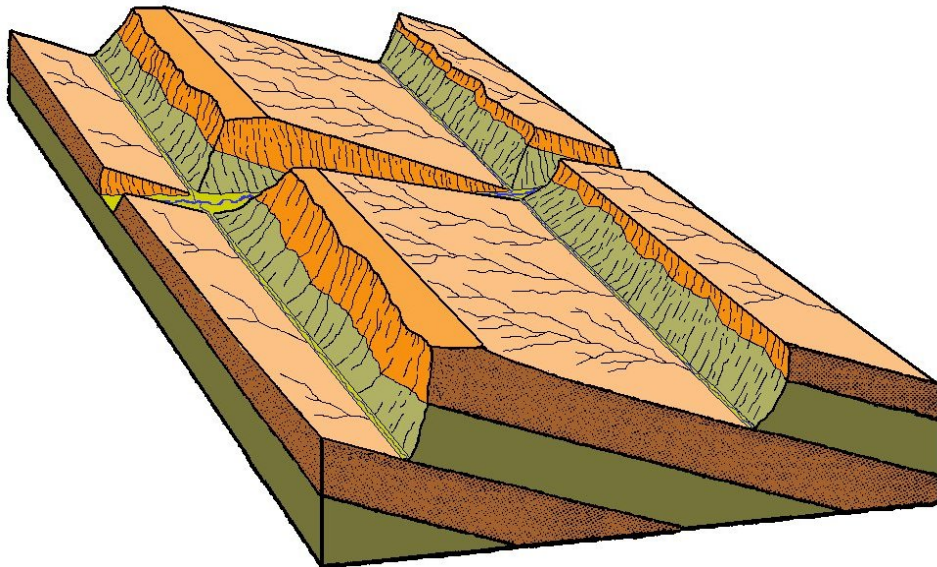
**Figura 59.** Etapa previa a la aparición de la Cuesta. La profundización vertical del sistema tributario (paralelo al rumbo de la estructura) acaba de alcanzar al banco duro de mayor resistencia (pardo), luego de atravesar al banco blando (verde). En esta etapa los valles son de perfil simétrico y el paisaje es mesetiforme debido a la existencia de extensos ambientes interfluviales planos.



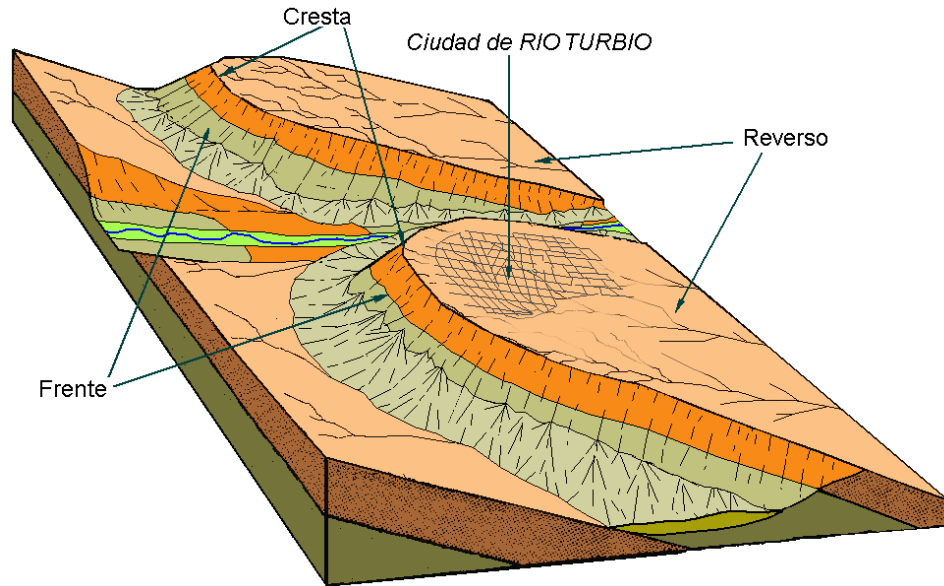
**Figura 60.** La profundización fluvial de los ríos tributarios alcanzan al banco duro pero no pueden atravesarlo. De esta forma, los cauces resbalan lateralmente sobre él en la dirección de inclinación de la estructura. Este desplazamiento socava permanentemente el pie de la pendiente derecha del valle promoviendo en ella una elevada inestabilidad que se resuelve mediante movimientos de remoción en masa, que dan lugar a una pendiente inmadura y abrupta. En esta etapa se forman valles de rumbo, de perfil asimétrico donde la pendiente izquierda de valle es gobernada por el banco duro y la pendiente derecha por movimientos de masas. El paisaje general sigue siendo mesetiforme.



**Figura 61.** El desplazamiento lateral de los valles de rumbo continua mientras la profundización del trocal (valle transversal a la estructura) se mantiene. El paisaje comienza a perder su característica mesetiforme al consumirse progresivamente sus ambientes interfluviales planos, y gradando progresivamente a un paisaje de Cuestas temprano. En el se reconocen Reversos (pendientes tendidas) y Frentes (pendientes empinadas), pero todavía no se han formado las Crestas debido a la existencia relíctica de interfluvios llanos.



**Figura 62.** El desplazamiento lateral de los valles de rumbo continua de tal forma que el retroceso de los Frentes (pendientes empinadas) comienzan a avanzar sobre los Reversos de los valles contiguos (pendientes tendidas) dando lugar a la generación de las primeras Crestas (interfluvios agudos), tal como se ejemplifica en la Cuesta del extremo derecho de la figura. Al tener lugar esta situación, las crestas comienzan a desplazarse acompañando el desplazamiento de los cauces.



**Figura 63.** Paisaje de Cuestas avanzado, tal como se observa en la actualidad. La ciudad de río Turbio se sitúa sobre el Reverso de la primera Cuesta. El curso fluvial que se observa corresponde a la cabecera del arroyo San José.

El resultado final de esta evolución geomórfica es la generación de un paisaje de Cuestas, donde los valles de rumbo, que son de perfil asimétrico según un corte normal, se desplazan lateralmente en el tiempo resbalando sobre el banco duro o Reverso, a expensas del retroceso del Frente, siendo acompañado este desplazamiento por las Crestas, las que además, configuran divisorias de aguas locales.

Si bien la evolución del reverso esta básicamente condicionada por la acción fluvial, si en el proceso de desplazamiento homoclinal el río logra atravesar totalmente al banco duro, la pendiente del valle tendrá mayor inclinación que la estructura, se expondrá la base del banco duro y así se presentaran condiciones favorables para que esa sección de la pendiente sea afectada por movimientos de remoción en masa del tipo Deslizamiento Traslacional.

Incluso, aun en el caso que el banco resistente no sea totalmente atravesado por la acción fluvial, la presencia en él de planos de fracturación de rumbo e inclinación favorables, pueden oficiar de superficies de despegue para la promoción de este tipo de movimiento gravitacional. Esta última situación estructural ha sido observada en varias localidades sobre las cuales se asienta la ciudad de río Turbio.

Hacia el Este, el paisaje de Cuestas grada progresivamente al de Mesetas debido a la caída en la inclinación de la estructura de plegamiento, tal como se puede observar en la localidad correspondiente a la Alternativa 2 (Figura 64). La paulatina variación de un paisaje de Cuestas a otro de Mesetas se puede observar en la Figura 65.



**Figura 64.** Paisaje de mesetas situado al NE de la ciudad de río Turbio. Sobre esta unidad geomórfica se localiza el sitio definido como Alternativa 2, el que esta señalado en forma aproximada mediante la flecha.



**Figura 65.** Pasaje progresivo de un paisaje de cuevas (izquierda de la figura) a otro de mesetas (centro y derecha de la figura).

### Paisaje glacial

La siguiente morfología destacable la representan las acumulaciones glaciares, las que se manifiestan según tres tipos principales:

- Crestas morénicas angostas dispuestas en series apretadas, apoyadas sobre los laterales del valle del río Turbio y arroyos de mayor importancia.
- Morenas basales, que cubren la mayor parte del paisaje aunque respetando sus lineamientos originales más destacados.
- Planicies glacialfluviales y glacialacustres.

Debido a la dinámica que tuvieron los glaciares que se desplazaron sobre el paisaje previo, las crestas morénicas son del tipo compuesto y complejo, al estar integradas de till alojado, till de ablación, till de flujo, depósitos glacialacustres y glacialfluviales, estando el conjunto indicado deformado y sobrecorrido por empuje del glaciar.

Por su parte, las morenas basales son en general de poco espesor y cubren el paisaje previo sin modificar severamente los lineamientos geomórficos preglaciares. En las superficies mesetiformes, estas acumulaciones propician un paisaje muy suavemente ondulado, facilitando la ocurrencia de cuencas pandas cerradas. En estas áreas se observan además, abundantes bloques de tamaño métrico de litologías exóticas que afloran en la región Oriental de la faja andina.

También se destacan las terrazas glacialfluviales relacionadas con el agua de ablación, especialmente las vinculadas con el último episodio glaciario que afectó a la región y que dejó en los niveles inferiores del valle una serie de planicies de variable desarrollo. Otras acumulaciones de este tipo se localizan en los niveles medios y superiores del valle como terrazas *kame* (Figura 6). En algunas secciones se adosan en forma precaria sobre los laterales de los valles o marginalmente a cordones morénicos parcialmente aterrizados, situación que da lugar a una fuerte inestabilidad de las pendientes, la que se resuelve a partir de procesos de remoción en masa de variada tipología.

#### Paisaje de remoción en masa

Con posterioridad al retiro de la Última Glaciación, el paisaje remanente fue afectado por movimientos de remoción en masa y por la erosión fluvial. Los movimientos de remoción en masa tempranos comenzaron a generalizarse en el ambiente perteneciente a las acumulaciones glacialgénicas que estaban apoyadas en las secciones medias y superiores de los valles englazados. Esta situación tuvo lugar cuando los glaciares que las sostenían lateralmente desaparecieron por ablación (Figura 43, Figura 44 y Figura 45). Debido a que en la región son abundantes los factores internos y externos que propenden la inestabilidad de las pendientes, los movimientos de remoción en masa han continuado hasta el presente.

Las formas relacionadas con movimientos gravitacionales tienen una presencia muy destacada en todo el ámbito analizado. Se trata mayoritariamente de deslizamientos traslacionales, avalanchas de roca, flujos con diverso estado de encauzamiento y geoformas compuestas y complejas donde asentamientos rotacionales y expansiones laterales gradan a flujos.

En su mayoría se localizan sobre ambos márgenes de los valles principales pero alcanzan su mayor distribución sobre las pendientes del valle del río Turbio. Entre las más importantes, por su grado de riesgo y la proximidad que tienen con el sitio correspondiente a la Alternativa 1, se mencionan las geoformas que se extienden a lo largo de la margen Norte y Este del río Turbio, desde su confluencia con el arroyo San José hasta la localidad de 28 de Noviembre.

Las características generales de los movimientos reconocidos en la comarca relevada se describen a continuación:

a) Deslizamientos Rotacionales: Los deslizamientos rotacionales han dado lugar a la existencia de bloques elongados que se disponen especialmente en el nivel superior de las pendientes. También están presentes en los niveles intermedios, aunque en este último sector son de menor tamaño y sus características geomórficas originales se encuentran parcialmente modificadas por la erosión y la removilización que han tenido desde su origen.

El movimiento ocurre cuando se genera una falla semicircular, que entra y sale del frente de la pendiente existente en la sección superior del valle. El bloque así limitado se mueve hacia abajo al tiempo que rota hacia atrás, de tal forma que la superficie del mismo, definida como terrazuela, presenta luego del movimiento una inclinación opuesta a la de la pendiente. La característica de la referida falla curva condiciona el largo de los bloques deslizados y su ancho. El desplazamiento de cada bloque da lugar a cicatrices cóncavas sobre las pendientes afectadas.

En la comarca analizada, los bloques deslizados son en general angostos y de limitada extensión longitudinal debido a que raramente se presentan fracturas semicirculares de gran desarrollo, tal como se puede observar sobre la pendiente Este del valle del río Turbio, 6.3 km aguas arriba de su confluencia con el arroyo San José (Figura 66). En este sitio los bloques deslizados y rotados tienen una longitud máxima de 130 m y un ancho que no supera los 30 metros.

Esto último ocurre así por la influencia que ejercen otras estructuras originales como ser fallas locales, diaclasas, planos de estratificación, dureza variable de las secuencias clásticas movilizadas, granulometría de las sedimentitas, espesores de cada banco y naturaleza de los contactos entre unidades litológicas.

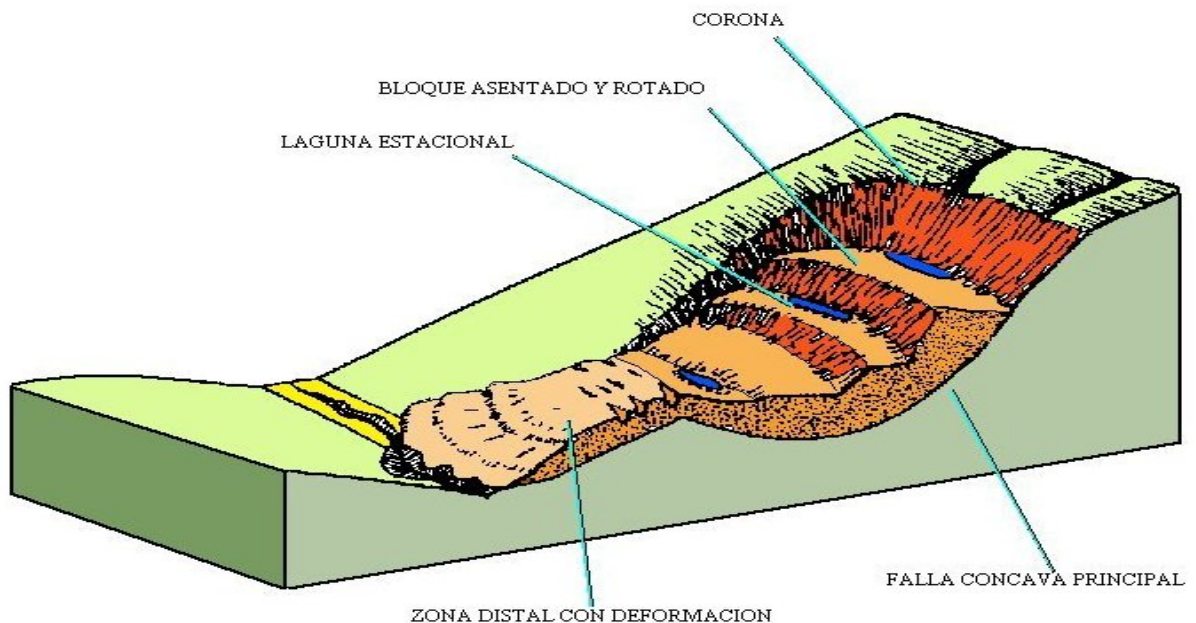


**Figura 66.** Sección del valle superior del río Turbio afectada por deslizamientos rotacionales. El área movilizada está limitada por una clara cicatriz o corona superior semicircular que encierra el sector en el cual se localizan varios bloques asentados. Hacia la sección inferior se observa una zona afectada por flujos parcialmente encauzados.

Luego del movimiento la pendiente presenta irregularidades pronunciadas que facilitan un mayor tiempo de residencia, e incluso la acumulación temporal, del agua de precipitación pluvial y la derivada de la ablación de la nieve. Debido a que estos cuerpos de agua están situados inmediatamente sobre el plano de falla curvo, ocurre que el agua contenida en la laguna puede drenar a lo largo de la referida falla y aflorar como manantiales en posiciones más bajas de la pendiente, específicamente en el sitio donde la falla curva vuelve a interceptar la superficie. Esta situación da lugar, dentro del macizo, a un incremento en la presión poral, factor interno que promueve la inestabilidad de la pendiente y su posterior caída. Además, luego del movimiento, las litologías afectadas presentan un mayor grado de fracturación y una pérdida substancial de la compactación y tenacidad original. Debido a esto, si bien después del movimiento de remoción en masa la pendiente alcanza una inclinación más baja, y por lo tanto una mejor estabilidad, otros factores internos y externos que no estaban presentes antes del suceso han aparecido luego del mismo, llevando los valores de inestabilidad a niveles superiores a los que existían antes de la caída.

Por esta causa, es muy común observar la recurrencia de movimientos de pendiente en áreas inicialmente afectadas por deslizamientos rotacionales, destacándose que las referidas removilizaciones se materializan en general como flujos que van desde no encauzados a encauzados.

En la Figura 67 se ilustra en forma ideal las características que están presentes en un deslizamiento rotacional típico y la terminología de cada una de sus partes.



**Figura 67.** Características que están presentes en un deslizamiento rotacional típico.

También es probable que algunos movimientos que se inician como un deslizamiento rotacional, puedan llegar a culminar como un flujo denso en su sección distal, dependiendo esta situación del contenido de agua, características granulométricas, inclinación de la pendiente y grado de cementación de los componentes litológicos afectados por el evento. Esta podría ser la situación para los movimientos de masas complejos que se exponen en la sección baja de la margen Este del río Turbio (Figura 68).



Varnes (1978) indica para deslizamientos rotacionales típicos, velocidades de desplazamiento que van desde muy lentas (1.5 metros por año) a rápidas (9 metros por hora). Este valor debe considerarse como preliminar y orientativo ya que la real velocidad que podrían tener los bloques analizados solo puede calcularse con precisión a partir de estudios específicos sobre este tema.



**Figura 68.** El terreno de topografía suavemente ondulada que se observa en el segundo plano corresponde a geoformas de remoción en masa del tipo complejo (asentamientos que culminan en flujos), las que se sitúan sobre el lateral Este del valle del río Turbio, en su intersección con la ruta 293.

b) Deslizamientos Traslacionales: Estos movimientos tienen lugar cuando en el seno de las secuencias clásticas cenozoicas existen planos de despegue (horizontes estratigráficos, diaclasas, fallas, bancos arcillosos) que inclinan con valores menores a los de la pendiente, de tal forma que la interceptan. Bajo estas condiciones estructurales favorables, ante un disparador apropiado (sobrepeso, sismo, precipitación pluvial torrencial, fusión rápida de nieve, etc.) el bloque superior se desliza sobre el plano de despegue mediante un movimiento traslacional. La existencia de un paisaje de cuestas es un condicionante favorable para que este tipo de movimiento tenga lugar en gran parte de la cuenca del río Turbio. Esta situación se observa, por ejemplo, en el Reverso de la cuesta sobre la cual esta fundada la ciudad de Río Turbio.

Según Varnes (1978), las velocidades que se verifican para estos movimientos van desde rápidas (0,3 m/minuto) a extremadamente rápidas (3 m/segundo), dependiendo de las condiciones estructurales particulares y los factores disparadores que intervienen en el suceso.

Tal como ocurre con los deslizamientos rotacionales, el material deslizado pierde rápidamente coherencia y continúa moviéndose como un flujo denso, razón por la cual estas geoformas se asemejan a flujos no encauzados. Sobre el lateral Oeste del valle del río Turbio, 800 m aguas abajo del sitio correspondiente a la Alternativa 1, se observa un deslizamiento traslacional que culminó en flujo (Figura 69)



**Figura 69.** Deslizamiento traslacional que culmina en flujo

c) Flujos: Como ya fue indicado, formas de este tipo se observan como fases distales de movimientos del tipo deslizamiento, tanto rotacional como traslacional. No obstante se reconocen sectores del valle en los cuales han tenido lugar flujos puros, en su mayoría encauzados a parcialmente encauzados (Figura 70).



**Figura 70.** Flujo encauzado, valle del río Turbio (S 51° 29' 38" - W 72° 14' 44")

Los flujos puros se generan en general a partir del desplazamiento de acumulaciones glaciogénicas inconsolidadas, sin cementación y con baja compactación, adosadas sobre los laterales del valle. En su mayor parte se trata de till complejo asociado con morenas marginales y acumulaciones glaciafluviales y glacialacustres provenientes de terrazas Kame.

A diferencia de los deslizamientos, en este caso el material puede desplazarse encauzado y recorrer mayores distancias a lo largo de los cursos fluviales. La existencia de cenoglomerados interestratificados con las acumulaciones de terraza aluvial, tal como se observa en la Figura 59, implica que un evento de este tipo se desplazó a lo largo del río Turbio (Figura 71).



**Figura 71.** Caída de pendiente que culmina en un flujo, 2 km aguas arriba de la Alternativa 1. El cenoglomerado de la Figura 19, cuya localización se señala mediante la flecha, se vincula con este movimiento de remoción en masa.

Con respecto a las velocidades que pueden alcanzar estos eventos de remoción en masa, Varnes (1978) indica valores que van desde rápidos (18-20 metros por hora) a extremadamente rápidos (3 metros por segundo). Estas diferencias dependerán de las condiciones de encauzamiento, inclinación de la pendiente, porcentaje de agua en la mezcla, etc. Teniendo en cuenta las características granulométricas de los componentes líticos que se relacionan con los movimientos de este tipo detectados en la cuenca, la inclinación de la pendiente sobre las que se desplazaron, y su presencia en las acumulaciones de terraza aluvial del río Turbio (Figura 57), puede considerarse como más probable las velocidades extremadamente rápidas.

d) Formas complejas: En el estudio se reconocieron, además de movimientos relacionados con deslizamientos y flujos, formas complejas. Se localizan sobre la pendiente Este del valle del río Turbio, frente al sitio correspondiente a la Alternativa 1. Abarcan una faja de la pendiente que se extiende a lo largo de 900 m, entre las cotas de los 250 m y 300 m.

## Factores promotores de Inestabilidad

Numeroso son los factores (naturales y antropogénicos) internos y externos que promueven la gran inestabilidad que presentan estas pendientes, destacándose como los de mayor influencia los siguientes:

### Factores externos:

- Remoción del apoyo lateral o subyacente: Deglaciación, corte fluvial, corte antropogénico.
- Stress transitorio por onda sísmica
- Acumulación de estéril e Incremento de carga sobre pendientes empinadas: Tal como se puede observar en el lateral del valle del arroyo San José, frente al yacimiento minero. Sobre esa pendiente se depositan pilas de estéril proveniente del Yacimiento de carbón río Turbio. Se observan claramente removilizaciones masivas que se desplazaron como flujos no encauzados (Figura 72).

### Factores internos:

- Bajo grado de cohesión interna por baja cementación de algunos bancos de las sedimentitas, que favorecen deslizamientos traslacionales, deslizamientos rotacionales y expansiones laterales
- Bajo grado de cohesión interna por existencia de acumulaciones glaciogénicas inconsolidadas apoyadas sobre las pendientes de los valles, las que favorecen avalanchas de detritos y rocas, flujos parcialmente encauzados, torrentes de barro y formas compuestas y complejas.
- Bajo grado de cohesión interna por incremento de la presión interna o presión poral
- Plasticidad de algunos bancos de sedimentitas
- Existencia de planos de discontinuidad tales como horizontes estratigráficos que, con inclinaciones mas bajas a las de las pendientes, interceptan a estas promoviendo deslizamientos traslacionales.
- Características estratigráficas y estructurales de las secuencias cretácicas-terciarias que favorecen deslizamientos rotacionales y expansiones laterales.



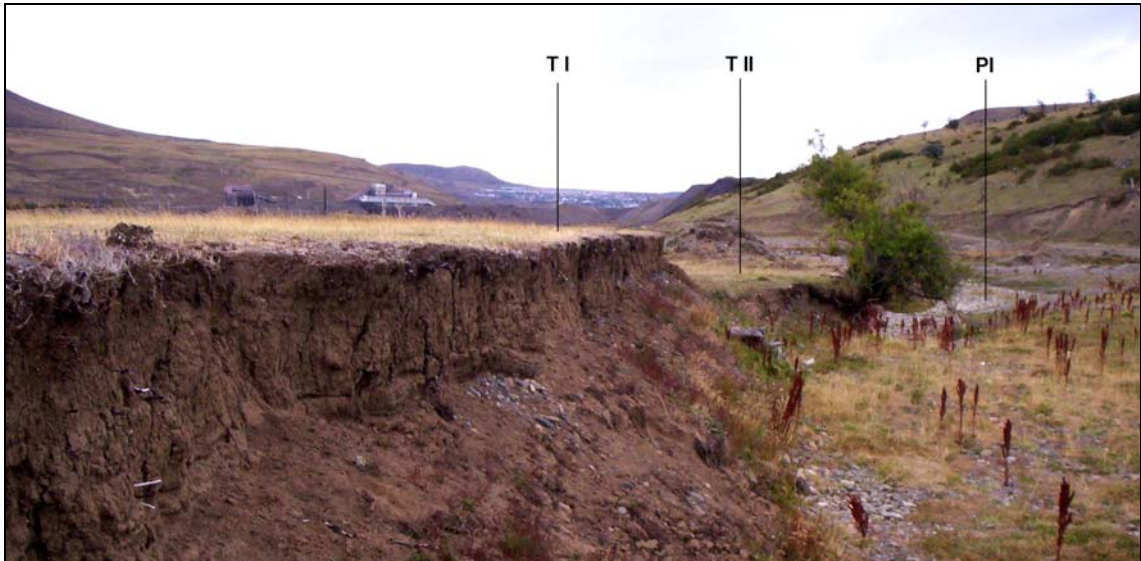
**Figura 72.** Remoción en masa afectando pilas de estéril.

### Paisaje fluvial

El diseño fluvial general existente en la cuenca puede ser separado en dos tipos principales: Enrejado Dirigido, para la sección Occidental, y Dendrítico de densidad media a baja, para el sector Oriental. Los sitios correspondientes a las alternativas 1 y 2 se sitúan en este último ambiente fluvial.

La acción fluvial postglacial dio lugar a la modificación parcial de los valles principales, especialmente en las secciones relacionadas con el piso de los cauces. De esta forma se establecieron sobre ellos una serie de terrazas fluviales y planicies de inundación de desarrollo variable. Las mas importantes se observa en el curso del río Turbio, el que tiene dos niveles de terrazas aluviales en las que se indenta su planicie de inundación (Figura 73).

Una morfología similar presenta el arroyo San José en su curso superior (Figura 74) aunque en una escala más reducida. Sin embargo, en su curso medio e inferior, en este arroyo los rasgos morfológicos originales han sido profundamente modificados a partir del lago artificial y hasta su confluencia con el río Turbio (Figura 75), sección donde fue rectificado mediante canalizaciones y endicamientos (Figura 76).



**Figura 73.** Terrazas del río Turbio en su confluencia con el arroyo San José. TI: Terraza superior, TII: Terraza inferior, PI: Planicie de Inundación.



**Figura 74.** Cauce y terrazas en la sección superior del arroyo San José donde las modificaciones antropogénicas son mínimas.

El hábito de los cursos fluviales principales es variable. Para la sección sin modificar del arroyo San José es del tipo irregular. En cambio para el río Turbio, aguas arriba de su confluencia con el arroyo San José, el hábito es algo sinuoso y el río se sitúa sobre una planicie de inundación angosta de entre 20 y 25 m de ancho. Esta característica cambia aguas abajo de la referida confluencia, sitio a partir del cual pasa a tener un hábito entrelazado con secciones cortas en las cuales aumenta la sinuosidad hasta ser meandriforme. En esta sección fluvial es donde además, alcanza el mayor desarrollo de su planicie de inundación, la que llega a tener hasta 100 m de ancho. Se destaca finalmente, que la mayor inestabilidad de borde de canal se observa en esta última sección fluvial aumentando significativamente el peligro de erosión fluvial .



**Figura 75.** Arroyo San José en la sección severamente modificada por el represamiento, la canalización y el endicamiento, este ultimo generado por el deslizamiento de pilas de estéril sobre su planicie aluvial.



**Figura 76.** Laguna artificial formada por el endicamiento del arroyo San José como consecuencia de deslizamientos de áridos provenientes desde la margen opuesta.



### 1.3.3 Geología correspondiente a las alternativas 1 y 2

A continuación se describen las características geológicas más destacables que están presentes en las alternativas 1 y 2.

En el marco del presente capítulo de la caracterización geológica se considerarán las siguientes definiciones de riesgo y peligro:

- peligro (hazard): amenaza potencial a personas y/o bienes, asociado a las características propias del factor analizado (es intrínseco del factor).
- riesgo (risk): refiere a la posibilidad que eventos peligrosos produzcan consecuencias indeseables. Relaciona el factor peligroso con la posibilidad de generar una afectación.

#### 1.3.3.1 GEOLOGIA DE LA ALTERNATIVA 1

##### Estratigrafía

Cuaternario. Holoceno. Depósitos de terraza aluvial

El área en la cual se sitúa la Alternativa 1 se sitúa inmediatamente al SE del poblado de Julia Dufour, sobre el nivel de terraza aluvial superior del río Turbio. Las características de este depósito solo pueden ser observadas en los cortes que la migración lateral del río Turbio excavó en el cuerpo de la misma. En general las exposiciones no sobrepasan los 3 m de potencia. En ellas se puede observar que el depósito se compone de arenas gruesas y finas, con limos subordinados, que hacia los niveles basales gradan a gravas medianas y gruesas.

Las arenas tienen estratificación entrecruzada en cubeta mientras que los limos subordinados llegan a tener laminación. Por su parte las gravas muestran estructura imbricada, especialmente los clastos oblatos y prolados. Las arenas y limos fueron acumuladas en un medio fluvial con ríos de hábito meandriforme, mientras que las gravas se relacionan con un medio fluvial de mayor energía y con ríos de hábito entrelazado.

Intercalado entre el nivel de arenas se observa un banco masivo sin evidencia de estructura de sedimentación, en el cual están incluidos trocos de diverso tamaño. Se trata de un cenoglomerado relacionado con un flujo denso o torrente de barro. Esta acumulación es similar a la que se sitúa aguas arriba, en las cercanías de la confluencia del río Turbio con el arroyo San José. La totalidad de las acumulaciones señaladas se encuentran desagregadas y son fácilmente erosionadas por la acción de planación lateral del río Turbio, el que en esta localidad presenta una fuerte inestabilidad de borde de canal.

La continuidad en el subsuelo de estos depósitos, y por lo tanto su espesor total, ha sido definida en estudios previos a partir de investigaciones directas e indirecta. Por ejemplo, en el sitio asignado como Alternativa 1, IC Ingeniería Consultora (2005) realizó tres perforaciones que permitieron establecer que estas acumulaciones, en general integradas por arenas y gravas, superan los 26 m de potencia. Por su parte, en el relevamiento realizado por Gianni (2005) se determinó, en este caso a partir de investigaciones indirectas mediante sondeos eléctricos verticales, que el espesor de los depósitos aluviales según un perfil transversal al río Turbio es de entre 30 m y 55 m, con un promedio de 42 metros. Por debajo de estos depósitos se localizan las sedimentitas paleógenas de la Formación río Guillermo (Hunicken, 1955; Leanza, 1972), que en esta localidad se manifiesta según bancos limo arcillosos en los cuales se intercalan niveles de carbón.

Se destaca que gran parte de los depósitos de terraza aluvial tienen en sus primeros metros una severa modificación antropogénica ya que han sido sometidos a la extracción de áridos, removilizaciones masivas para la construcción de terraplenes defensivos (Figura 77) y es, además, un sitio de recepción de residuos de todo tipo que provienen de las ciudades adyacentes (Figura 78).



**Figura 77.** Modificación superficial para la construcción de terraplenes. Extremo Norte del sitio correspondiente a la Alternativa 1.



**Figura 78.** Basural situado en el ámbito del sitio correspondiente a la Alternativa 1. En la figura se observa el corte que sobre este depósito efectuó el río Turbio durante un periodo de creciente. En el primer plano se sitúa una barra de gravas perteneciente a los depósitos aluviales actuales.

Cuaternario. Holoceno. Depósitos aluviales actuales

Indentado dentro de las acumulaciones de terraza aluvial se localiza el actual cauce del río Turbio y sus acumulaciones aluviales modernas. Estas últimas son en su mayor parte gravas gruesas, medianas y finas, con una menor participación de arenas gruesas.

Se destaca además que gran parte de esta acumulación se compone de clastos de carbón expuestos, que son transportados por las aguas que se desplazan por el arroyo San José, el que posteriormente las transfiere al río Turbio. Los clastos de carbón son de tamaño variable aunque en su mayor parte son de granulometría fina.

De esta forma, a partir su confluencia con el arroyo San José, los depósitos aluviales del río Turbio presentan un cambio severo, el que repercute en otras variables del curso fluvial tales como su morfometría, capacidad de transporte e, incluso, en el hábito del río. Las diferencias granulométricas aguas arriba y aguas debajo de la indicada confluencia pueden ser rápidamente visualizadas en la Figura 79.



**Figura 79.** Abrupta variación granulométrica en las acumulaciones aluviales del río Turbio, aguas abajo (izquierda) y aguas arriba (derecha) de su confluencia con el arroyo San José. En el primer caso, además de gravas abundan las granulometrías finas (limos de carbón de color gris oscuro), mientras que en el segundo caso solamente se observan gravas.

Además de las acumulaciones referidas, en la sección Sur de la Alternativa 1 se observa un volumen importante de residuos de todo tipo y tamaño que son transportados por el río Turbio e incorporados a los depósitos aluviales descritos precedentemente (Figura 80). Estos materiales provienen del relleno sanitario informal (Basural) que se localiza sobre el nivel de terraza superior y que es severamente afectado por la erosión fluvial (Figura 78). Al respecto se destaca que como consecuencia de la dinámica que tiene el río Turbio en esta sección, el indicado proceso erosivo se potenciara progresivamente en el plazo inmediato afectando una mayor superficie del basural.



**Figura 80.** Depósitos aluviales del río Turbio. Hacia la derecha se observan las acumulaciones de gravas gruesas relacionadas con los depósitos de punta de barra, hacia el centro se observan las acumulaciones clásicas de carbón según granulometrías finas, medianas y gruesas, en las cuales se incluyen residuos provenientes del basural y chatarra. A la izquierda, sobre la pendiente de corte, se observan las acumulaciones arenosas que constituyen el cuerpo de la terraza aluvial.

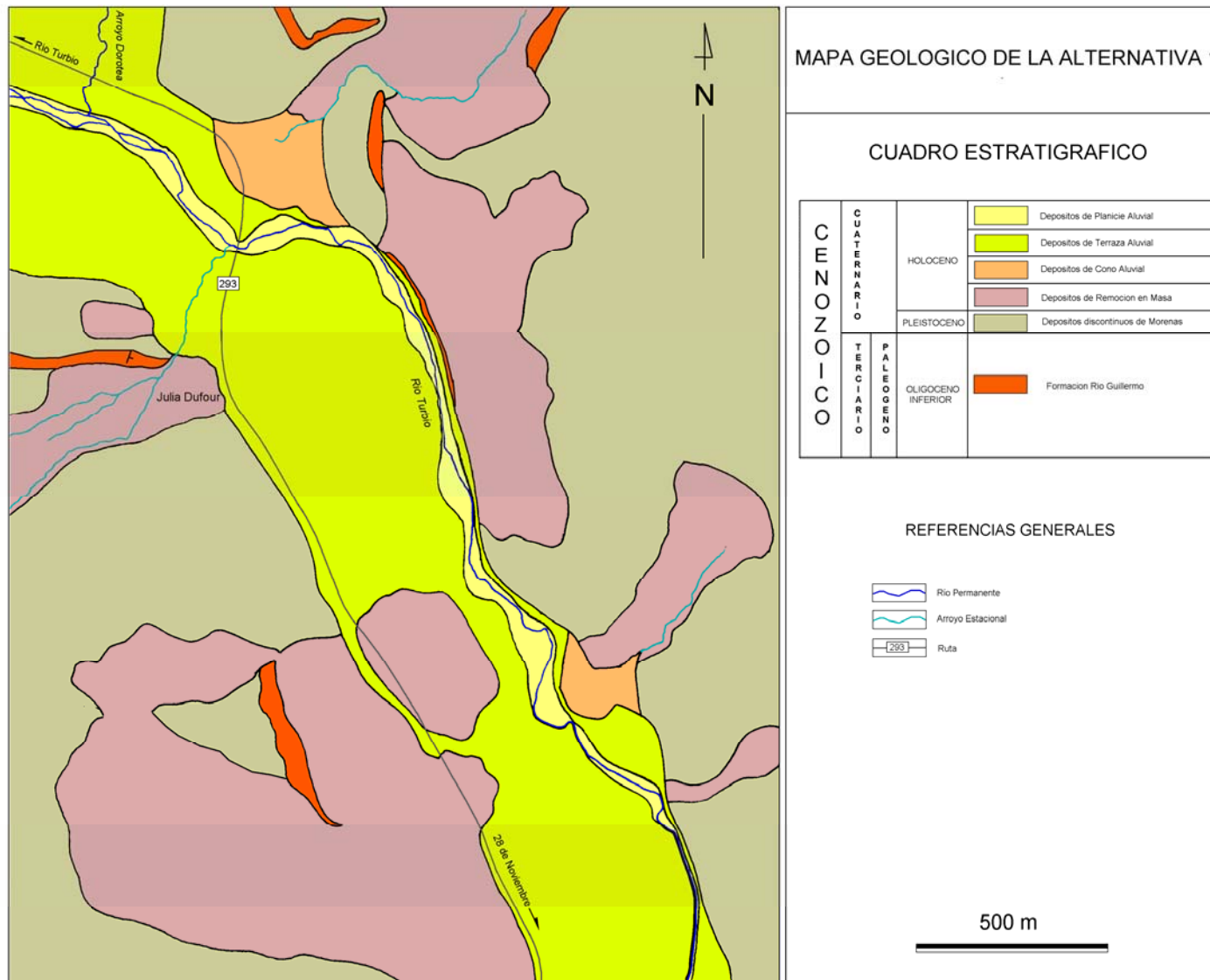


Figura 81. Mapa Geológico de la Alternativa 1

## Geomorfología

Las unidades geomórficas que se observan en el ámbito de la Alternativa 1 son dos y asociadas con la dinámica del río Turbio: Terraza Fluvial y Planicie de Inundación

### Terraza Fluvial

La totalidad del sitio correspondiente a la Alternativa 1 se sitúa sobre la terraza superior del río Turbio. Esta subunidad geomórfica es del tipo aluvial o de acumulación y cíclica. Esta situada a una cota de aproximadamente 235 m y tiene un ancho variable de entre 350 m a 500 m. Si bien sus características geomórficas superficiales originales son irreconocibles en esta localidad, sus aspectos primordiales pueden en cambio ser observados 1.000 m aguas debajo de la Alternativa 1. En este último sector se registra sobre la superficie de la terraza un patrón relacionado con ríos que tenían habito general meandriforme, característica que queda definida por la presencia vestigial de paleocauces sinuosos y paleo meandros abandonados.

Como resultado de las observaciones de campo y el análisis e interpretación de registros remotos multitemporales se pudo determinar que la terraza localizada en la Alternativa 1 ha sido afectada por extracciones de áridos, removilizaciones masivas y sepultamiento parcial. Actualmente se localiza en ella un basural (Figura 78 y Figura 82).



**Figura 82.** Aspecto del nivel de terraza superior del río Turbio en el ámbito del sitio correspondiente a la Alternativa 1.

Teniendo en cuenta el patrón de modificación observado, las primeras alteraciones de su superficie estuvieron relacionadas con la extracción de áridos que fueron utilizados para la construcción del terraplén sobre el cual se sitúan las vías del ferrocarril industrial. Además, estos materiales también fueron utilizados para la fundación de varios terraplenes adyacentes al río Turbio, los que probablemente tuvieron como objetivo controlar los eventos de inundación asociados con este curso fluvial.



**Figura 83.** Traza original del terraplén marginal al río Turbio de 620 m de longitud. La imagen satelital fue obtenida el 17 de diciembre de 2007. En trazo rojo se indican los tramos erosionados y en verde los que todavía persistían a la fecha de la imagen. Con el círculo amarillo se indica la localización de la Figura 45.



**Figura 84.** Pendiente de corte del río Turbio. Se observa la característica de la planicie de inundación durante un periodo de aguas bajas, el corte erosivo sobre las acumulaciones de terraza por desplazamiento lateral del cauce y el terraplén artificial que fue construido como defensa ante las inundaciones estacionales, el que aparece totalmente erosionado y seccionado transversalmente.

En los registros remotos del año 1979 puede observarse que existía un sistema de cuatro terraplenes principales en buenas condiciones, dos de los cuales presentan actualmente tramos que han sido eliminados por la acción fluvial.

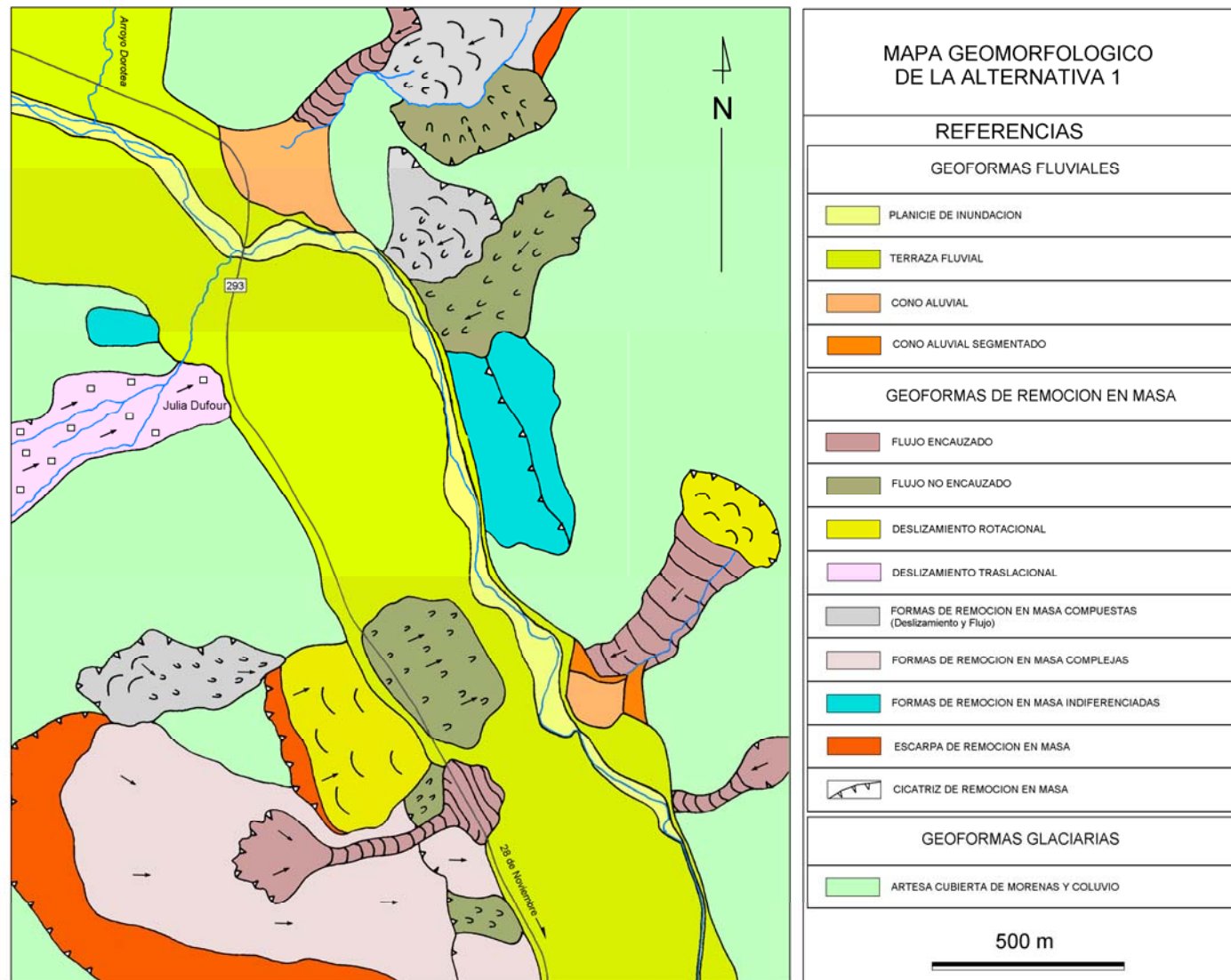
Enumerados desde el cuadrante Norte, el primero se localiza inmediatamente aguas abajo del cruce de la ruta 293 con el río Turbio y tiene una extensión de 450 m. El segundo, con un largo original de 357 m ha sido parcialmente erosionado en una sección de 54 m. El tercer terraplén de 278 m de extensión no presenta erosión. Finalmente el cuarto terraplén, que originalmente se encontraba muy próximo a la margen derecha del río Turbio, ha sido severamente erosionado ya que de los 620 m originales que tenía solo perduran 100 m. En la Figura 83, se observa una escena de una imagen satelital sobre la cual se ha marcado la traza original del terraplén, indicándose la sección erosionada en rojo y la que todavía persiste en verde. En la Figura 84 se puede observar el terraplén seccionado transversalmente por el río.

#### Planicie de Inundación

El nivel de terraza fluvial sobre el que se sitúa la Alternativa 1 está limitado hacia el Este por el río Turbio, el que se desplaza sobre una planicie de inundación mayoritariamente cubierta de gravas gruesas, con elevada participación de clastos de carbón tamaño fino. La naturaleza granulométrica de la carga transportada y depositada da lugar a que el hábito sea inicialmente algo sinuoso con un tramo rectilíneo, para continuar meandriforme irregular a algo entrelazado.

Esta superficie de transporte fluvial se sitúa a 3 m por debajo de la terraza aluvial y desarrolla un ancho variable que oscila entre los 42 m y los 92 metros. Comparando el ancho que presentaba en el año 1979 con el que se observa en la actualidad, se puede establecer que en algunos tramos fluviales esta superficie se ha expandido hasta casi tres veces. Esta notable variabilidad en la dinámica del cauce da lugar a una fuerte inestabilidad del borde de canal. La micro morfología de la planicie de inundación se completa con la existencia de barras curvilíneas. Estas últimas se suceden en forma escalonada en la zona interna de los cauces que tienen una elevada curvatura (Figura 42)





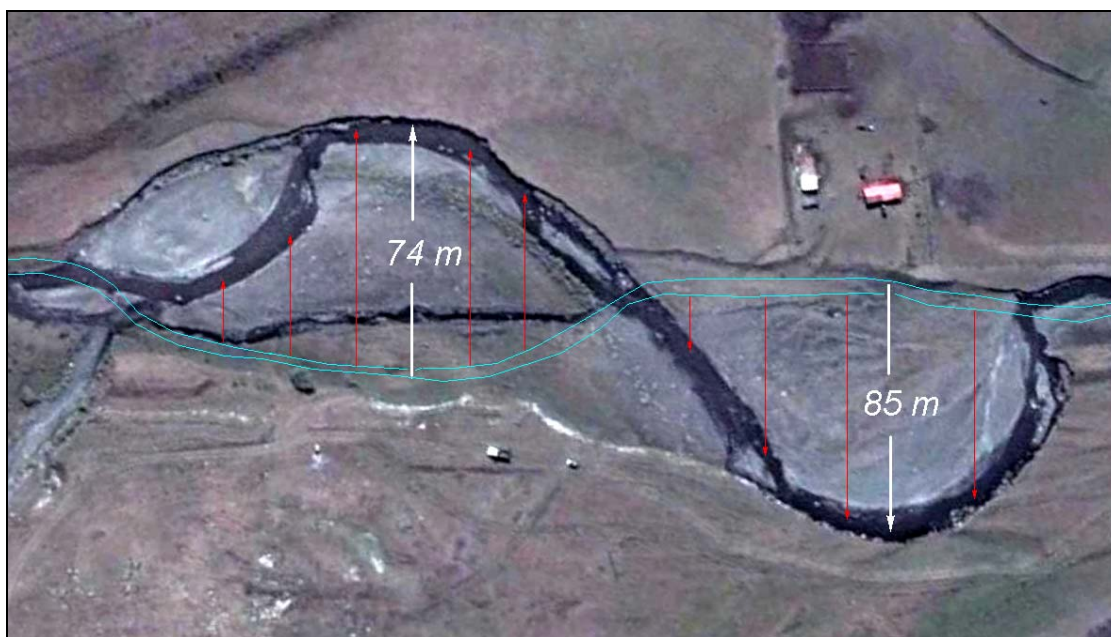
**Figura 85.** Mapa geomorfológico de la Alternativa 1

## Peligro Geológico

En el ámbito y sectores adyacentes al sitio correspondiente a la Alternativa 1 se observa un importante riesgo geológico, especialmente el relacionado con el peligro de inundación, el peligro de erosión fluvial y el peligro de remoción en masa. Asimismo, se destaca la existencia del peligro volcánico y el peligro sísmico. Este último, si bien no alcanzaría intensidades muy severas de acuerdo a la información preexistente, podría ser el disparador de la ocurrencia de otros peligros geológicos tal como el de remoción en masa y hundimientos diferenciales del terreno. Sus localizaciones y tipologías generales se detallan a continuación.

Peligro a la inundación: Se vincula con las terrazas bajas y sectores inmediatos a la llanura aluvial de los ríos principales, como es el caso del río Turbio y arroyo San José. Existe evidencia geomórfica clara que eventos de inundación policíclicos han afectado recientemente a esta zona.

Peligro a la erosión fluvial: Se relaciona con la estabilidad lateral del canal fluvial correspondiente al río Turbio, en el cual se producen desplazamientos laterales rápidos durante los eventos de crecientes extraordinarias. Estos desplazamientos se producen cuando en el pie la pendiente de corte, o curva externa del cauce, tiene lugar una excavación que induce la inestabilidad y posterior caída de las acumulaciones que forman el cuerpo de la terraza aluvial. El material incorporado de esta forma en el canal activo es inmediatamente trasladado en la dirección de la corriente tractiva. Evidencias de la magnitud que puede alcanzar el proceso de erosión fluvial lateral del río Turbio quedan claramente reflejadas cuando se observa cómo fue erosionado el terraplén artificial que lo marginaba por la ribera Oeste (Figura 83 y Figura 84). Mediante el análisis e interpretación de imágenes multitemporales se pudo establecer cuál es la magnitud de desplazamiento lateral total que presenta el cauce en la zona del sitio Alternativa 1 a lo largo de un lapso de 28 años. Para realizar este estudio se seleccionó un tramo de canal de 306 m de extensión, el que se ilustra en la Figura 86. En ella, sobre la imagen correspondiente al año 2007 se marco en color celeste la posición que tenía el cauce del río Turbio en el año 1979. En primer lugar se destaca rápidamente que entre ambas fechas tuvo lugar una variación evidente en el hábito del río que paso de ser casi recto, en 1979, a desarrollar meandros irregulares en el año 2007. En segundo lugar se observa que, como consecuencia del cambio de habito, entre el año 1979 y el año 2007 el cauce se desplazo en su primera sección 74 m hacia el NE y en la segunda sección 85 m hacia el SO (Figura 86).



**Figura 86.** Sobre la imagen satelital de fecha 2007 se transfirió en líneas celestes la posición que tenía el cauce del río Turbio en el año 1979. Las líneas rojas señalan la dirección de desplazamiento total del canal para cada tramo mientras que los valores de 74 m y 85 m indican los desplazamientos máximos para las direcciones hacia el NE y SO respectivamente. La dirección de la corriente es hacia la derecha.

A partir del análisis realizado se pudo establecer una tasa media de desplazamiento lateral de entre 2,6 m y 3 m por año. Debe tenerse en cuenta que este es un valor promedio ya que, en realidad, el proceso de desplazamiento se da durante algunos eventos o pulsos de máxima energía y corta duración de tiempo que superan en mucho al referido valor. Esta notable dinámica en la migración del cauce fue acompañada por una expansión en el ancho de la planicie de inundación. La evolución de este último parámetro en la morfometría fluvial del río Turbio arroja un dato interesante: hasta 1997, el ancho de la planicie de inundación mantenía un valor promedio de entre 20 m y 43 m, en equilibrio con el hábito casi recto del cauce, mientras que en los registros del año 2007 el ancho de la planicie variaba entre los 42 m y 92 metros, ajustándose al hábito meandriforme. Teniendo en cuenta el ancho que presentaba la planicie de inundación en el año 1979 y considerando que los cambios ocurridos hasta el año 2007 eliminaron parte de las acumulaciones de terraza y también a las secciones de terraplenes situados sobre ellas, se puede concluir que en un periodo de 28 años, y solamente a lo largo de un tramo de 300 m, se erosionaron aproximadamente 57.000 m<sup>3</sup> de sedimentos, los que fueron inmediatamente transportados aguas abajo. Este volumen arroja una tasa media de erosión de 2.035 m<sup>3</sup> por año para la sección considerada. También en este caso se trata de un valor promedio ya que el proceso de erosión tiene lugar durante unos pocos eventos o pulsos de máxima energía y corta duración que ocurrieron a lo largo de los referidos 28 años, y donde cada uno de ellos erosionaron volúmenes de sedimento más importantes que los referidos 2.035 m<sup>3</sup>/año. Se destaca que los cambios precedentemente descritos en este tramo particular del río Turbio son representativos de lo que ocurre a lo largo del mismo a partir de su confluencia con el arroyo San José y hasta aguas abajo del sitio Alternativa 1. Sin embargo, en la sección situada aguas arriba de esta unión, el río Turbio no presenta variaciones ponderables en el hábito ni en el ancho de la planicie de inundación entre los años 1979 y 2007.

Este cambio notable y selectivo para un tramo particular en la morfometría fluvial del río Turbio, implica una variación profunda y reciente en la dinámica del sistema. Como causas confluyentes se pueden mencionar el incremento de carga clástica, proporcionado por fuentes antrópicas, las canalizaciones efectuadas en el arroyo San José, las canalizaciones locales sobre el río Turbio y el incremento de caudal que progresivamente es emitido al sistema fluvial desde el yacimiento (drenaje de aguas subterráneas) y desde la ciudad de río Turbio (aguas domiciliarias y cloacales). Tampoco deberían descartarse anteriores cortes de cuello de meandros del río Turbio, tales como los que se observaron durante las tareas de campo.

Peligro a la Remoción en Masa: Se trata de asentamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales y flujos. Las evidencias de que estos movimientos tuvieron lugar pueden ser reconocidas en la mayor parte de las pendientes inferiores e intermedias de los valles del río Turbio. Se destaca en particular al lateral del valle situado al Este del río ya que sobre esta unidad geomórfica se localizan acumulaciones glaciogénicas inconsolidadas sobre las cuales los factores internos y externos promotores del corte y posterior caída de la pendiente son muy numerosos. Asimismo, se reconocen sobre esta pendiente una serie de morfologías que indican la existencia de anteriores movimientos de remoción en masa, especialmente del tipo complejo, los que ante disparadores apropiados reactivarían sus desplazamientos. Por otra parte, en ciertas secciones del valle del río Turbio se observa que gran parte de las pendientes fueron afectadas por movimientos del tipo deslizamiento traslacional que culminan en flujos, como el indicado en la Figura 69. La ocurrencia reiterada de este tipo de eventos tiene el potencial de producir el endicamiento del río, y dar lugar a un proceso de inundación progresiva de la sección del valle situada aguas arriba del bloqueo. Evidencias de este escenario son las acumulaciones de cenoglomerados que se interestratifican con las acumulaciones aluviales de terraza fluvial, las que fueron descritas precedentemente (Figura 57 y Figura 71). Debido a las características geológicas, geomórficas y dinámicas que están presentes en la comarca, el grado de peligrosidad que tiene esta zona a la remoción en masa es muy elevado.

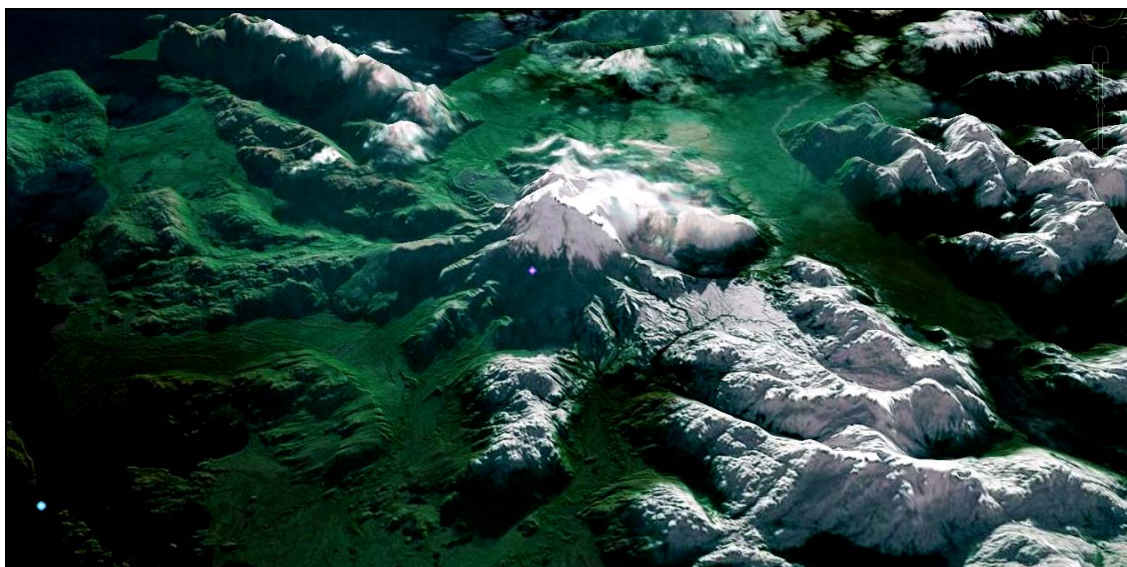
Peligro Sísmico: De acuerdo a la información existente (INPRES, 1999), la región en la cual se sitúa el área analizada tiene una Peligrosidad Sísmica Reducida. Asimismo, el INPRES (1977) indica que en esta región los sismos con mayor probabilidad de ocurrir en un lapso de 100 años son los de intensidades máximas mayores e iguales a VI en la escala Mercalli y que desde 1930 se registran sismos con magnitudes alrededor de 5 en la escala Richter. Sin embargo, resulta importante mencionar que la destrucción asociada con sismos no se deben a la acción primaria de este evento en si mismo sino a la ocurrencia de otros sucesos los cuales pueden ser disparados por el sismo. En este sentido, la ocurrencia de un sismo tiene el potencial de inducir la generación de movimientos de remoción en masa sobre pendientes potencialmente inestables, como ocurren en la zona estudiada.

Otra consideración que se debe tener en cuenta se relaciona con los procesos de fluidificación que podrían afectar a las acumulaciones clásticas sueltas y saturadas que sirven de fundación a las estructuras, dando lugar a una pérdida significativa de su resistencia y a la generación de asentamientos diferenciales, pérdida de capacidad portante, y/o oscilaciones del terreno por la densificación súbita de arenas sueltas. Este comportamiento, denominado licuefacción, se produce por el desarrollo de grandes presiones en el agua que ocupa los poros de depósitos clásticos de granulometría fina. Estas grandes presiones porales son inducidas cuando se aplican a la masa del depósito esfuerzos o deformaciones de corte en condiciones que no se le permite su liberación inmediata. Bajo estas circunstancias las arenas saturadas tienden a densificarse ocupando un menor volumen. Si el drenaje es lento o inexistente, la presión de poros se puede incrementar hasta anular el esfuerzo efectivo, con lo cual sobreviene la flotación de las partículas y la pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante.

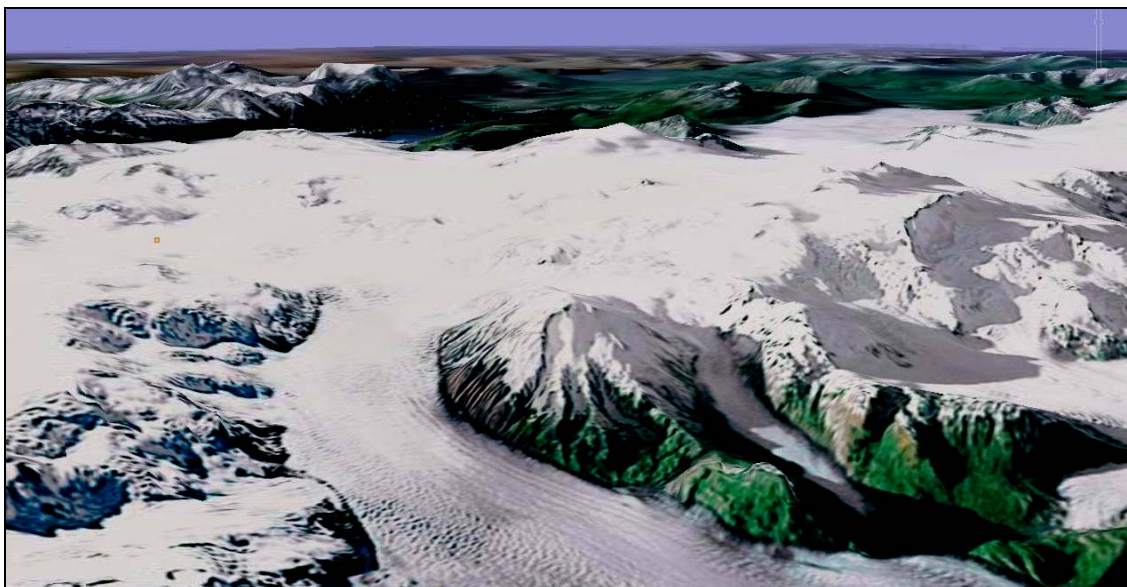
En un depósito sometido a este efecto se producen grandes deformaciones para muy bajos esfuerzos de corte, las cuales causan daños a las estructuras fundadas sobre ellos. Los factores más destacados que potencian el proceso de fluidización son: la Magnitud del sismo, la duración del sismo, la granulometría del depósito, su densidad relativa y la profundidad del nivel freático. Teniendo en cuenta estos aspectos, son más susceptibles a sufrir fluidización los depósitos modernos de relleno de canal fluvial y planicies aluviales, constituidos por arenas finas y limos desagregados, con clastos redondeados, en acumulaciones que presentan niveles freáticos libres situados a profundidades menores que 10 metros.

Peligro Volcánico: Se relaciona específicamente con la ocurrencia de erupciones volcánicas explosivas de volcanes situados en la zona Andina Patagónica. En este caso se descartan como posibles peligros los flujos de lava, explosiones laterales dirigidas, nubes ignimbríticas y flujos laaricos debido a la lejanía y a las particularidades geomórficas que están presentes entre los volcanes y la comarca del proyecto. Sin embargo, no deben excluirse como factor de peligrosidad probable de ocurrir, eventos del tipo precipitación de cenizas.

Los volcanes mas cercanos a esta comarca en los que se ha registrado actividad destacable en el lapso de los últimos 150 años son dos: el Volcán Burney (Figura 87), situado a 107 km de distancia según una dirección al Sur 45° Oeste de las zona de estudio, que tuvo una erupción explosiva en el año 1910, y el Volcán Reclus, localizado a una distancia de 118 km al Norte 55° Oeste, que tuvo la última erupción explosiva en el año 1908-9 (Figura 88).



**Figura 87.** Volcán Burney.



**Figura 88.** Volcán Reclus, sobre la vertiente Occidental del Campo de Hielo Patagónico Sur.

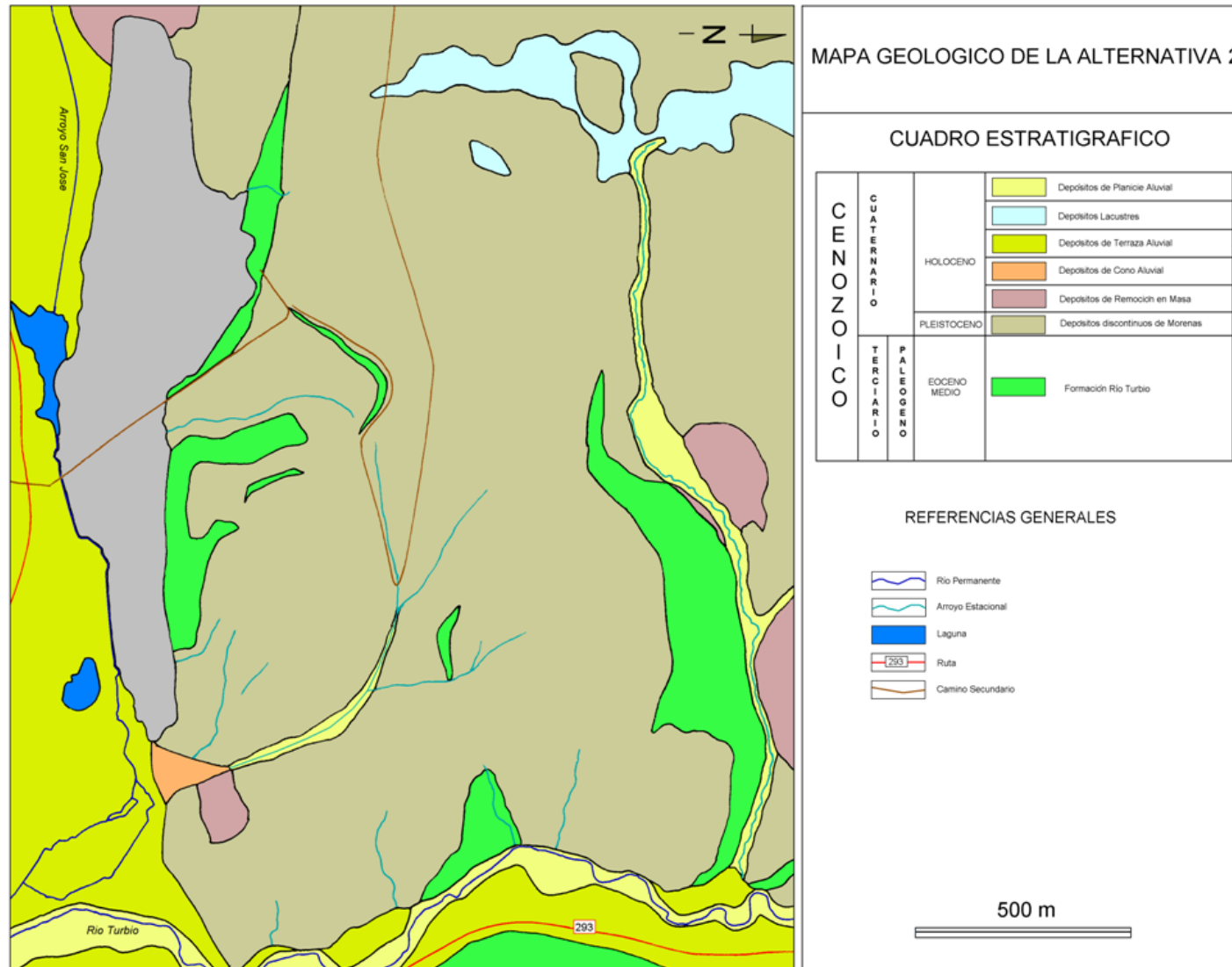
Algo más alejado se localiza el Volcán Aguilera, que se encuentra a una distancia de 173 km al Norte 40° Oeste, en el ámbito de la sección austral del Campo de Hielo Patagónico Sur, aunque en este caso no se conoce registro histórico sobre su probable actividad. Otros volcanes más alejados aún de la comarca en la cual se localiza el sitio de obras pero que han tenido actividad explosiva recientemente son el Viedma, a una distancia de 268 km al Norte 18° Oeste y el Lautaro, que se localiza a 310 km al Norte 19° Oeste, ambos en el Campo de Hielo Patagónico Sur.

### 1.3.3.2 GEOLOGIA DE LA ALTERNATIVA 2

#### Estratigrafía

El área en la cual se sitúa la Alternativa 2 corresponde a la cima de una meseta limitada al Sur y al Este por los cursos fluviales del arroyo San José y el río Turbio. Tributarios de ambos la recortan al indentar sus recorridos sobre ella. El techo de la meseta se sitúa a una altura variable que va desde los 360 m a los 400 m aproximadamente (Figura 90).

Sobre la pendiente Sur, Este y Oeste que la margina, afloran las sedimentitas de la Formación río Turbio. Esta unidad no emerge en forma continua sobre la meseta y solo lo hace en forma aislada debido a que la misma esta cubierta por una acumulación till alojado integrado de gravas, arenas, limos y arcillas cuyo espesor se estima del orden de los 2 metros. Formando parte de esta acumulación se observan bloques de hasta 3 m de lado.



**Figura 89.** Mapa Geológico de la Alternativa 2

## Estructura

La estructura que tiene el área en la cual se sitúa la Alternativa 2 es sencilla ya que en la misma se localizan, desde su extremo Oeste hacia el Este, una sucesión de sinclinales y anticlinales casi indetectables en los cuales las alas tienen valores de inclinación muy bajos, los que no superan los 6°. La poca inclinación y la sucesión de plegamientos de reducida importancia dan lugar a una planicie subhorizontal con mínima pendiente. La Alternativa 2 se sitúa específicamente al Oeste del eje de un anticlinal de rumbo Norte 11° Oeste.

## Geomorfología

El tope de la meseta es una planicie estructural generada por el arrasamiento erosivo de las unidades formacionales menos resistentes que se situaban sobre la Formación río Turbio. La mayor dureza de los bancos pertenecientes a esta formación ejerció un fuerte control estructural controlando la evolución del paisaje e impidiendo la generación de mayores irregularidades en el relieve

Con posterioridad al labrado de la referida planicie estructural por arrasamiento, la misma fue cubierta por una glaciación, la que al retirarse dejó sobre ella una acumulación morénica basal de poco espesor. Esta acumulación dio lugar a la generación de una topografía suavemente ondulada (Figura 90) y a la presencia local de áreas deprimidas en las cuales se sitúan cuencas pandas de planta general subcircular.

La baja inclinación que tiene esta superficie no ha permitido una integración fluvial efectiva de las referidas cuencas cerradas. Una de las más desarrolladas tiene un diámetro de 160 m y se localiza a los 51° 21 33.80 Sur y 72° 18 13.00 Oeste. En la mayoría de estas cuencas cerradas se forman lagunas estacionales o transitorias durante los periodos de lluvias abundantes y a continuación de la fusión de la nieve que durante el periodo invernal se acumula sobre ellas.



**Figura 90.** Características geomórficas de detalle del sitio seleccionado como Alternativa 2.



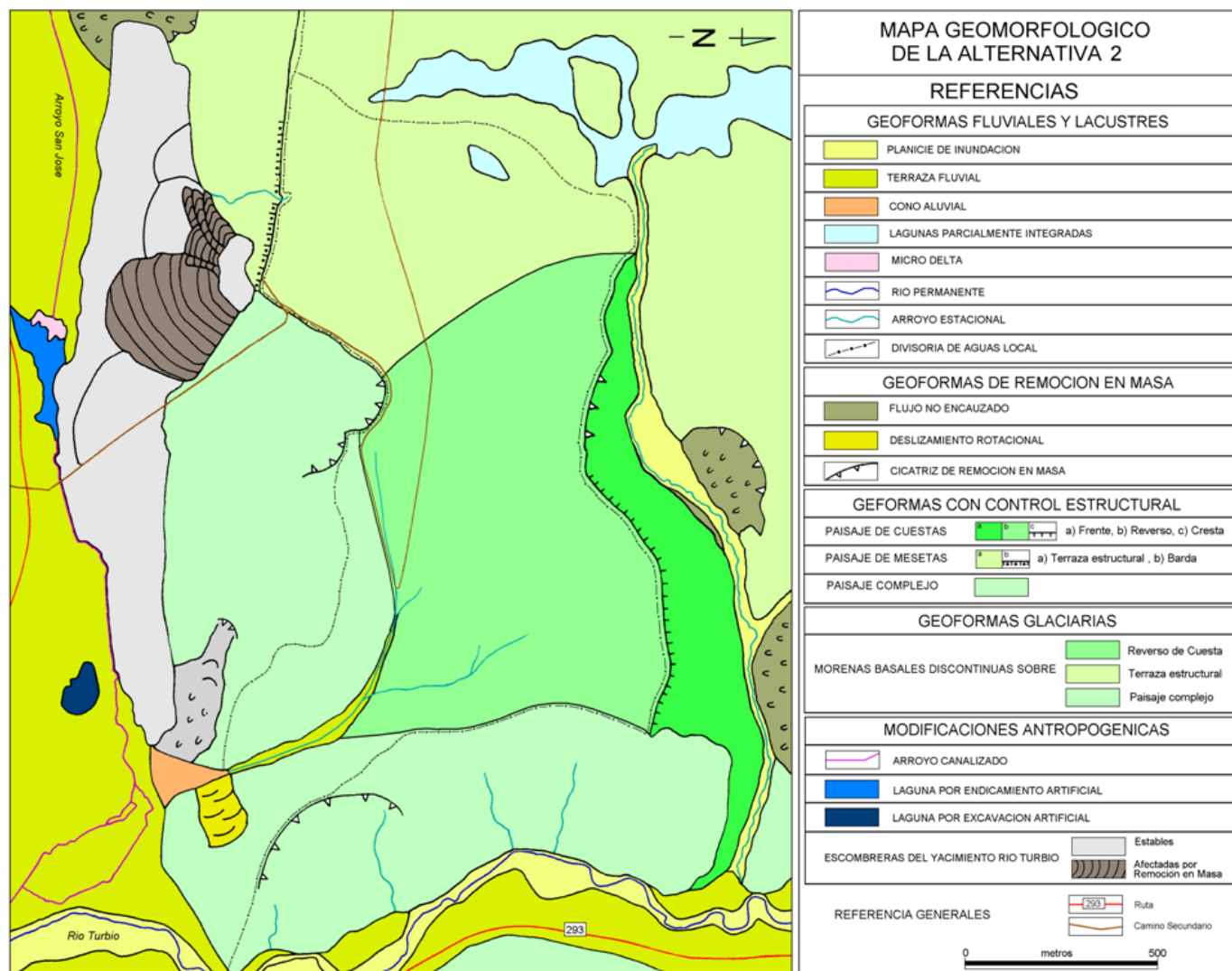


Figura 91. Mapa Geomorfológico de la Alternativa 2.

### Peligro Geológico

En el sector en donde se emplaza la Alternativa 2 la ausencia de cursos fluviales reduce los riesgos de inundación, erosión fluvial y remoción en masa. Por otro lado la baja inclinación reduciría los procesos de erosión hídrica.

En relación a la remoción en masa, si bien el peligro asociado a ella en esta zona no es frecuente, puede identificarse una zona en la faja inmediata al margen occidental de la superficie señalada, en donde podrían manifestarse este proceso.

En cuanto al peligro sísmico y el peligro volcánico, los mismos son similares en toda la comarca. Sin embargo, las características geológicas, geomórficas y geotécnicas de este sitio, sumadas a la falta del peligro de remoción en masa, no involucran consecuencia secundarias como resultado de un sismo.

## 1.4 EDAFOLOGÍA

La descripción edafológica del área de estudio se encuentra estructurada en dos etapas.

En una primera etapa se realiza una descripción de los suelos de la región en base a información bibliográfica. Se tuvieron en cuenta fundamentalmente la clasificación de suelos realizada para la provincia de Santa Cruz en el Atlas de Suelos de la República Argentina (1990); y el trabajo de Wijnhoud y Sourrouille (1972) sobre los suelos presentes en la transecta río Gallegos - río Turbio. Además se cuenta con el Estudio de Suelos para Fundaciones que se llevó a cabo en el marco del proyecto en uno de los predios alternativos para la instalación de la usina (Otto 2005).

La clasificación utilizada en el Atlas de Suelos de la República Argentina corresponde a la desarrollada por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) conocida como Soil Taxonomy.

En la segunda etapa se lleva a cabo el análisis de los resultados del muestreo de calidad de suelos y sedimentos llevado a cabo puntualmente en el área de estudio.

### 1.4.1 Descripción de los Suelos de la Región

Edafológicamente se diferencian dos amplias regiones dentro de la provincia de Santa Cruz: la patagonia extrandina y la patagonia andina (PASMA, 2001).

La patagonia extrandina se encuentra dominada por suelos del suborden Argid (orden Aridisol). Son suelos asociados a climas áridos y semi-áridos con vegetación del tipo desértica. Estos suelos se encuentran en los diferentes niveles mesetiformes y en las laderas de baja inclinación. Son suelos que presentan un horizonte superficial decolorado con bajo contenido en materia orgánica, producto del escaso crecimiento de plantas en superficie, y cuyo rasgo distintivo es su aspecto vesicular. Por debajo del horizonte superficial se encuentra un horizonte arcilloso (horizonte argílico) de color rojizo, casi siempre con agregados prismáticos. Presentan también una zona de acumulación calcárea (horizonte cálcico), que a menudo, en los niveles topográficos más elevados, se halla fuertemente cementado (horizonte petrocálcico) (PASMA, 2001; Buol et al. 1990).

Resulta interesante señalar que la presencia de horizontes argílicos supone para su formación una prolongada estabilidad del paisaje y disponibilidad de suficiente humedad (Riccardi & Roleri 1980 en PASMA, 2001). Es posible inferir entonces, que la mayoría de los suelos Argides presentes en la zona, habrían iniciado su desarrollo sobre superficies antiguas, anteriores al último avance glacial; y que obviamente habrían sido afectados por las condiciones de mayor humedad efectiva que aquel proceso implicó (PASMA, 2001). De otra manera, difícilmente se desarrollarían estos suelos teniendo en cuenta las actuales condiciones hidrotérmicas que caracterizan al sector extrandino. Asimismo, la existencia de cunas de arena atravesando sus perfiles y asociadas con la formación de suelos estructurales, son indicadores que estos suelos ya estaban presentes cuando la región presentaba condiciones periglaciales (que acompañaron a los períodos de glaciación) (PASMA, 2001).

La patagonia andina, en cambio, pese a contar con condiciones bioclimáticas más efectivas (fundamentalmente mayor disponibilidad de agua), presenta suelos de escaso desarrollo debido a que sólo han podido formarse en un corto período de tiempo y únicamente en aquellos sectores del paisaje donde la estabilidad geomórfica así lo ha permitido. Estos suelos presentan mayor contenido de materia orgánica que los suelos de la patagonia extrandina ya que, fundamentalmente, se encuentran cubiertos por vegetación más densa. Cuando se desarrollan bajo vegetación arbórea (como el bosque caducifolio), presentan horizontes superficiales orgánicos y niveles altos de acidez, producto de la acumulación de biomasa muerta (PASMA, 2001).

De acuerdo al Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA 1990) la región sur de la provincia de Santa Cruz presenta suelos de los ordenes Molisol, Ardisol y Entisol (ver Tabla 14 y Figura 92).

En los valles fluviales se localizan suelos de escaso desarrollo, variada composición textural y diferente régimen hídrico del orden Entisol. En el sur santacruceño son más frecuentes los subordenes Psament y Ortent (PASMA, 2001; Buol et al. 1990).

En las planicies basálticas se desarrollan suelos del suborden Argid (orden Ardisol). Son suelos de escaso desarrollo y muy friables que se localizan sobre coladas de composición básica que están parcialmente cubiertas por acumulaciones eólicas arcillo-arenosas, y que en algunos casos son delgadas y discontinuas cubiertas de gravas gruesas fluvio-glaciares. Haplargid y Paleargid son los grupos presentes en el sur de la provincia (PASMA, 2001).

En las márgenes y extremos orientales de los grandes lagos es frecuente la presencia de antiguos lechos lacustres y extensas crestas morénicas. En los antiguos lechos lacustres, donde el relieve es subhorizontal y escalonado a suavemente cóncavo, los suelos están compuestos por limos y arcillas con menor participación de arenas y gravas finas (orden Entisol suborden Ortent). Estos suelos se localizan en los que fueron lechos de antiguos lagos que luego del retiro de la última glaciación se vaciaron hacia el océano Pacífico. En relación con estos, son comunes los suelos del suborden Psamentes (orden Entisol) vinculados con depósitos de origen eólico que se estructuraron como consecuencia de la deflación de las fracciones arenosas del ambiente glacial-lacustre (PASMA, 2001).

En las crestas morénicas, donde el relieve es suavemente ondulado con desarrollo de lomadas elongadas, se desarrollaron suelos del orden Molisol. Los molisoles son suelos de pastizales, estepas y praderas, con horizontes superficiales profundos y oscuros, relativamente fértiles. Sobre estos ambientes se identifican suelos del grangrupo Haploborol (suborden Borol) y, subordinadamente del grangrupo Argixerol (suborden Xerol), especialmente sobre antiguas planicies glaciales encauzadas que se establecieron cuando el agua de fusión del hielo circuló entre las crestas (PASMA, 2001; Buol et al. 1990).

Bajo la vegetación de estepa gramínea en el área vecina inmediata al sector cordillerano sur, se identifican suelos que presentan un nítido horizonte saturado con bases y rico en materia orgánica (horizonte mólico), al que frecuentemente subyace un horizonte cálcico (PASMA, 2001).

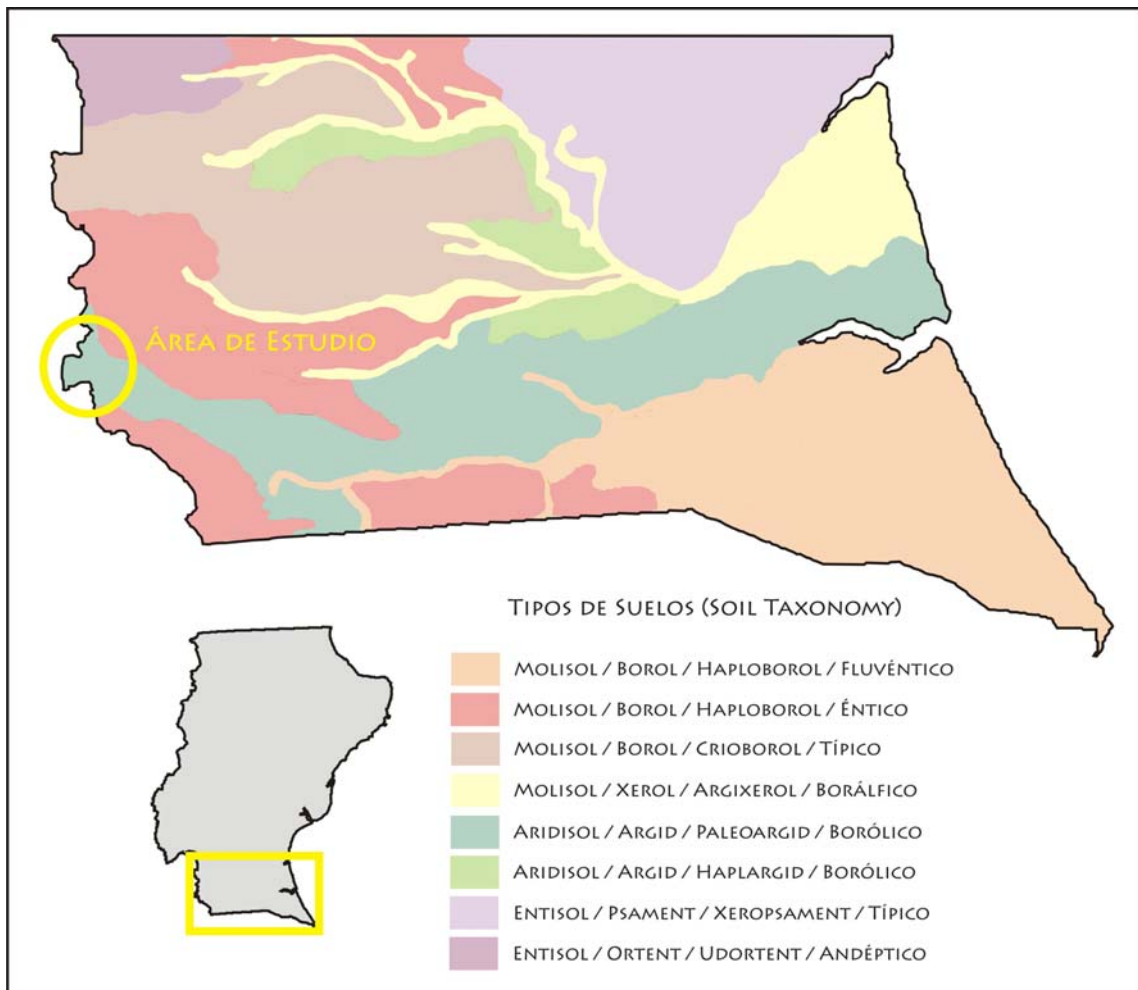
En el área de estudio se identifican los suelos Haploborol Éntico (orden Molisol suborden Borol) y Paleargid Borólico (orden Ardisol, suborden Argid).

Los Haploboroles son básicamente suelos negros desarrollados a partir de sedimentos minerales de la región andina, donde la temperatura media anual no supera los 8 °C, bajo una cobertura vegetal integrada fundamentalmente por gramíneas. La incorporación sistemática de los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral ha generado en el transcurso del tiempo un proceso de oscurecimiento del suelo por la incorporación de materia orgánica que se refleja más profundamente en la parte superficial. Generalmente tienen un horizonte subsuperficial oscuro o está estructurado (horizonte cámbico) (Buol et al. 1990; INTA 1990).

Los Paleargides son suelos antiguos evolucionados sobre superficies geomórficas muy estables. Se caracterizan por su escasez en materia orgánica, producto de la escasa cobertura vegetal superficial, y la presencia de un horizonte rico en carbonatos de calcio cementados (horizonte petrocálcico) a menos de 100 cm de la superficie; o bien por un horizonte (argílico) con más 35% de arcillas, caracteres que implican largos períodos de formación. Por lo general tienen coloraciones rojizas (Buol et al. 1990; INTA 1990).

**Tabla 14.** Tipos de suelos (Soil Taxonomy) presentes en la región sur de la provincia de Santa Cruz según el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA 1990) (ver Figura 92).

Tipos de Suelos (Soil Taxonomy) Región Sur de la Provincia de Santa Cruz			
Orden	Suborden	Grangrupo	Subgrupo
Molisoles	Boroles	Haploboroles	Éntico
		Crioboroles	Típico
	Xerosoles	Argixerosoles	Borálfico
Ardisoles	Argides	Paleargides	Borólico
		Haplargides	Borólico
Entisoles	Ortentes	Udortentes	Andéptico
	Psamentes	Xeropsamentes	Típico



**Figura 92.** Tipos de suelos (Soil Taxonomy) (ver Tabla 14)

Wijnhoud y Sourrouille (1972) realizaron un trabajo sobre los suelos presentes en la transecta río Gallegos - río Turbio en base a perforaciones. Según este trabajo, el factor más importante en la formación de los suelos del área relevada es el viento. El mismo actúa de diversas formas, pero fundamentalmente, removiendo las partículas finas y aumentando la evapotranspiración al secar más rápidamente los horizontes superiores, lo que causa menor lixiviado y la consecuente acumulación de carbonatos en el subsuelo.

Pero al oeste del área, la mayor precipitación y la menor evaporación posibilitan la existencia de un lixiviado moderado que causa encharcamientos periódicos, aún en los suelos de pendientes moderadas. La evidencia de ello es la presencia de fuertes moteados en los perfiles de los suelos.

Otro factor importante en la formación de los suelos del área es el congelamiento, efecto probablemente más activo y extensivo en el pasado.

La mayoría de los suelos de la sección oeste de la transecta se han formado sobre depósitos glaciales del Pleistoceno superior de textura no muy gruesa, que evidencian meteorización moderada. El drenaje imperfecto en las partes bajas de este paisaje relativamente joven generó condiciones que favorecieron la acumulación de materia orgánica. Los sedimentos marinos de diferentes litologías del Patagónico también dominan la sección, pero los afloramientos son de poca extensión.

En la llanura pedemontana alta, al norte del río Gallegos, los suelos se han formado sobre un manto fijo de sedimentos fluviales del Plioceno-Pleistoceno que cubren sedimentos terciarios continentales. Esta llanura pedemontana puede ser considerada como el paisaje más antiguo del área relevada y sus suelos han alcanzado un estado de meteorización bien desarrollado, como lo evidencia el subsuelo arcilloso de los mismos.

Para el área de estudio del presente informe, Wijnhoud y Sourrouille (1972) describieron diferentes tipos de suelos que se caracterizan a continuación.

Suelos aluviales hidromórficos en fondos de valles. Los suelos que se desarrollan en los fondos de los valles tienen buena retención de agua pero un imperfecto drenaje interno. La napa freática es más superficial en el centro de los valles que en los bordes, permaneciendo allí elevada por más tiempo durante los períodos secos. Estos suelos presentan gran variabilidad dependiendo de la eficiencia del drenaje. Químicamente son suelos salinos-alcalinos.

Suelos de pradera, fuertemente moteados en depósitos glaciales. Se ubican en las terrazas del río Turbio y se desarrollan sobre depósitos glaciales. Son suelos cubiertos por vegetación de tipo esteparia herbácea con predominio de *Festuca sp.* y ocasionalmente manchones de arbustos altos. Suelen estar anegados estacionalmente. No están muy consolidados y su consistencia va de blanda a firme. Las capas superficiales son de arena fina y abundante materia orgánica. A medida que se descende por el perfil su textura va cambiando primero a franco-arenosa, luego a franco-arcillosa-arenosa y finalmente a arcillosa. Las gravas no son muy abundantes. Y las estructuras son de moderadas a fuertes. Un rasgo característico de estos suelos es la presencia de abundantes moteados. Químicamente son suelos de mediana a ligeramente ácidos. Los horizontes superficiales son oscuros producto de las hojas muertas y las raíces en descomposición.

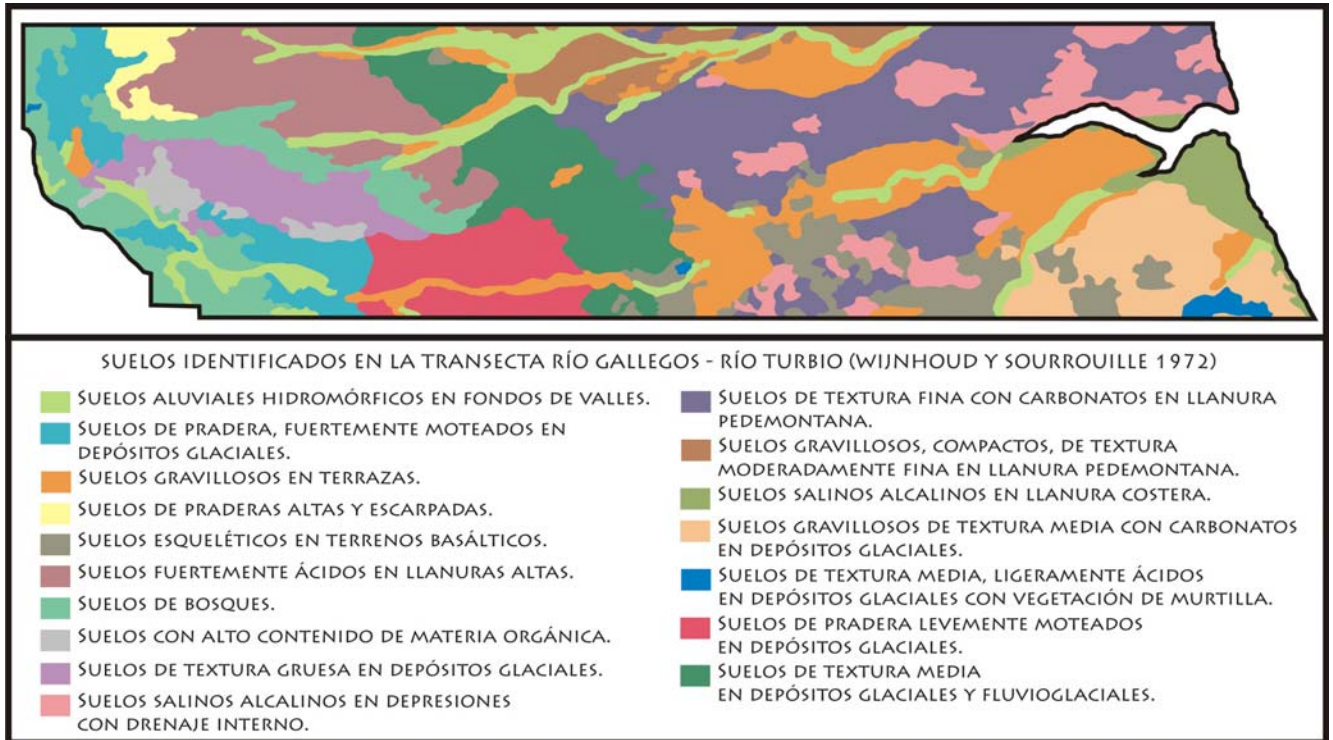
Suelos de textura gruesa en depósitos glaciales. En los depósitos glaciales del flanco sur de la meseta Latorre, se identifica un tipo de suelo particular. Aparece en laderas suaves, niveles llanos, terrazas y asociado en fondos de valles, bajo vegetación esteparia herbácea y arbustiva baja. Sus características varían en función de la ubicación topográfica, siendo más secos en las lomas y laderas y más húmedos en los valles. Son suelos no consolidados, de consistencia suelta a blanda o friable. Su textura es arenosa fina en las capas superiores, a arenosa gruesa en las capas inferiores donde hay abundantes gravas, aunque las mismas están presentes en todo el perfil. En las capas superiores la materia orgánica es abundante. No hay moteados ni tampoco suelen presentarse estructuras, y cuando éstas se hacen presentes son débiles. El pH de estos suelos varía entre fuertemente y medianamente ácidos.

Suelos con alto contenido de materia orgánica. En el paisaje glacial de hoyas y lomadas que se extiende al norte y el sur del río turbio, se identifica un suelo con alto contenido de materia orgánica que se desarrolla bajo un césped denso o estepario con predominio de herbáceas del género *Festuca*. Son suelos poco consolidados de consistencia blanda a firme. A medida que se desciende en el perfil, la textura va pasando de arenosa fina con abundante materia orgánica o materia orgánica únicamente, a franco-arenosa o franco con materia orgánica, a franco-arcillosa. En las capas inferiores hay abundantes gravas y presencia de moteados. De acuerdo a la posición topográfica, la proporción de materia orgánica y moteados varía, siendo más abundante en las partes deprimidas, donde se acumula la humedad. Las estructuras son débiles y a veces grumosas. Químicamente son suelos de ligera a moderadamente ácidos.

Suelos fuertemente ácidos de llanuras altas. En la llanura suavemente ondulada y con ligera inclinación al este, que se extiende en la parte alta inmediatamente al este de la meseta Latorre, se presentan suelos cubiertos con una vegetación de estepa graminosa y martillar. Sus horizontes superiores son poco profundos, pedregosos, con baja capacidad de retención de agua, pocos nutrientes y pH ácidos. La textura de estos suelos va de arena fina y arena franco con materia orgánica en las capas superficiales, a franco-arcillosas-arenosas en las medias, y franco-arcillosas y arcilla en las inferiores. En estas capas inferiores es común la presencia de moteados y gravas. Las estructuras son moderadas a débiles y la consistencia de friable a firme.

Suelos de bosques. Los suelos de las laderas, cumbre y otros sitios prominentes de la ladera media sur y oeste de la meseta Latorre, la sierra Dorotea y la franja que se extiende entre el río Turbio y la frontera con Chile, se encuentran cubiertos por bosques del género *Nothofagus* asociados a pastizales de gramíneas. Las capas superiores de estos suelos son de arena fina y se continúan con arenas franco y franco-arenosas, llegando a un subsuelo franco-arcilloso-arenoso. Las gravas se encuentran presentes en todo el perfil, pero son más frecuentes en las capas inferiores donde generalmente se identifican moteados. En las capas superiores hay presencia de materia orgánica descompuesta. Las estructuras de estos suelos son de moderadas a débiles y su consistencia va de suelta a firme. Estos suelos tienen buena capacidad de retención de agua. El pH de los suelos de los bosques varía de fuertemente a ligeramente ácido, producto de la acumulación de hojas de los *Nothofagus*.

Suelos de laderas altas y escarpadas. Los suelos que se desarrollan en las laderas altas y escarpadas al sur y el oeste de la meseta Latorre, son suelos cubiertos superficialmente por pavimento de gravas o murtilla. Tienen un pequeño horizonte superficial de arena que cubre el resto del perfil constituido por gravas.



**Figura 93.** Suelos identificados en la transecta Río Gallegos – Río Turbio. Fuente: Elaboración propia en base a Wijnhoud y Sourrouille (1972)

Según las observaciones realizadas por Wijnhoud y Sourrouille (1972) (Figura 93) todos estos suelos identificados en el área de estudio, salvo los últimos que se desarrollan en las laderas altas y empinadas, tienen el mayor potencial de producción del área abarcada por el estudio, en función fundamentalmente a la mayor disponibilidad de agua que presenta el oeste de la provincia de Santa Cruz.

Particularmente, se cuenta con información sobre el tipo de suelo presente en el predio de la Alternativa 1. Dicho terreno se encuentra localizado en la planicie aluvial del río Turbio y presenta evidencias de relleno y erosión fluvial posterior.

Según el Estudio de Suelos para Fundaciones (Otto 2005) el suelo de este terreno presenta un estrato superficial de 3 m de profundidad conformado por arenas arcillosas con presencia de gravas en estado consistente. A esta altura se identificó el nivel freático que se estabiliza a los 1,80 m. Por debajo del primer estrato, aparece otro de profundidad variable constituido por gravas en matriz arenosa y con presencia de finos. Este estrato fiable se encuentra en un estado por lo general muy compactado, salvo en ciertas profundidades donde disminuye la cantidad de finos incorporados. A partir de los 30 m aparece un estrato arcilloso-limoso con presencia de arenas y gravilla en estado muy compactado que presenta pequeñas lajas de suelo cementado y otras de material oscuro similar al carbón de piedra. La roca sana se indica como de eventual aparición a los 40 m.



#### **1.4.2 Calidad de Suelos**

Con el objeto de recabar información respecto de la calidad de los suelos en algunos sitios seleccionados en el área de implantación del proyecto (predios de las dos alternativas de localización) y su área de influencia cercana, se llevó a cabo un Plan de Muestreo de calidad de Línea de Base, de suelos y sedimentos de los cuerpos de agua principales.

Para tal fin se tomaron 20 muestras superficiales de suelo en lugares estratégicos del área de estudio incluidos los terrenos alternativos para la instalación de la usina. Para los 4 sitios de muestreo localizados en el área de disposición de residuos (Alternativa 1), se tomaron también muestras de suelo a 0,7 m de profundidad. Además se extrajeron 4 muestras de sedimentos<sup>1</sup> de los cursos de agua del área (Anexo I – Mapa I-15). Esta última determinación tiene por objetivo relacionar los resultados obtenidos en agua superficial y sedimentos de forma tal de comprender la dinámica de los procesos de contaminación que podrían existir actualmente en la zona.

Las muestras de suelo y sedimentos fueron tomadas en una única campaña durante los días 2 y 16 de abril del 2008, coincidiendo con el inicio del otoño.

En la Tabla 15 se presenta la ubicación de los sitios de muestreo, y en la Tabla 16, los parámetros que se determinaron en las muestras de suelos y sedimentos, así como los métodos analíticos utilizados.

---

<sup>1</sup> Materiales arrastrados mecánicamente por la corriente y que se depositan en el fondo del curso de agua.

**Tabla 15.** Especificaciones de los sitios de muestreo de calidad de suelos y sedimentos.

Márgenes del Arroyo Santa Flavia	
<b>SU-01</b>	Aguas arriba de Río Turbio (Bosque de Los Duendes).
<b>SU-02</b>	Agua abajo de Río Turbio. Aguas arriba de la confluencia con el Arroyo San José.
Márgenes del Arroyo San José	
<b>SU-03</b>	Aguas arriba del Dique San José.
<b>SU-04</b>	Pila de carbón remanente de operaciones pasadas.
<b>SU-05</b>	Aguas abajo del Dique San José.
<b>SU-06</b>	Aguas abajo del efluente del depósito de chatarra de YCRT.
<b>SU-07</b>	Sector O del terreno considerado como Alternativa 2.
<b>SU-08</b>	Sector O zona de emplazamiento de pilas de carbón
<b>SU-09</b>	Sector E zona de acopio de materiales estériles.
<b>SU-10</b>	Sector E del terreno considerado como Alternativa 2.
<b>SU-11</b>	Planta de tratamiento de carbón de YCRT.
Margen del Río Turbio aguas arriba de la confluencia con el Arroyo San José	
<b>SU-12</b>	Puente Ruta Nacional N° 40.
Márgenes del Río Turbio	
<b>SU-13</b>	Aguas abajo de Alternativa 2.
<b>SU-14</b>	Aguas arriba Alternativa 1 (Puente de la Ruta Nacional N° 40).
<b>SU-15</b>	Sector N del terreno considerado como Alternativa 1.
<b>SU-15 0,7</b>	Sector N del terreno considerado como Alternativa 1.
<b>SU-16</b>	Sector S del terreno considerado como Alternativa 1.
<b>SU-16 0,7</b>	Sector S del terreno considerado como Alternativa 1.
<b>SU-17</b>	Sector N del basurero.
<b>SU-17 0,7</b>	Sector N del basurero.
<b>SU-18</b>	Sector S del basurero.
<b>SU-18 0,7</b>	Sector S del basurero.
<b>SU-19</b>	Aguas arriba de 28 de Noviembre.
<b>SU-20</b>	Aguas abajo de 28 de Noviembre.
Fondos de Cursos de Agua	
<b>SE-01</b>	Río Turbio. Aguas abajo de la Alternativa 1.
<b>SE-02</b>	Río Turbio. Aguas arriba de la Alternativa 1 (Puente Ruta Nacional N° 40) (coincide con SU-18).
<b>SE-03</b>	Río Turbio aguas arriba de la confluencia con el Arroyo San José, (predio de la radio AM 620).
<b>SE-04</b>	Arroyo San José. Agua arriba de la Alternativa 2.

**Tabla 16.** Especificaciones del muestreo y el análisis de calidad de suelos y sedimentos.

Parámetros determinados	Límite de Cuantificación (mg/kg)	Metodología de análisis	Metodología de base a implementar en muestreos y preservación de muestras
Hidrocarburos alifáticos lineales (n-alcanos de C6 a C40)	< 0,1	EPA 8015 D	<p>ISO 10381-1 Guía para la designación de programas de muestreo.</p> <p>ISO 10381-2 Guía sobre técnicas de muestreo.</p> <p>ISO 10381-3 Precauciones generales de seguridad.</p> <p>ISO 10381-5 Guía para la investigación de sitios con respecto a la contaminación.</p> <p>ISO 11464 Pre-tratamiento de muestras para análisis físico-químicos.</p>
Antimonio total	< 20	EPA 3050 B-7040	
Arsénico total	< 10	SM 3030 G / 3500-As B	
Bario total	< 50	EPA 3050 B-7080	
Benceno	< 0,05	EPA 5021 A-8260 C	
Boro	< 2	SM 4500 B B	
Cadmio total	< 1	EPA 3050 B-7130	
Cianuro libre (extraíble en medio alcalino)	< 0,5	EPA 9013 / EPA 9014	
Cianuro total	< 5	EPA 9010 / EPA 9014	
Cobalto	< 5	EPA 3050 B-7200	
Cobre total	< 5	EPA 3050 B-7210	
Cromo total	< 5	EPA 3050 B-7190	
Cromo hexavalente	< 5	EPA 3060 A / 7196	
Estaño	< 20	EPA 3050 B-7870	
Etilbenceno	< 0,05	EPA 5021 A-8015	
Fluoruro soluble en medio acuoso	< 1	SM 4500-F D	
Mercurio total	< 0,8	EPA 7471-A	
Molibdeno	< 20	EPA 3050 B-7480	
Níquel total	< 5	EPA 3050 B-7520	
PCB's	< 0,05	EPA 3550 B-8082	
Plata total	< 5	EPA 3050 B-7760	
Plomo total	< 20	EPA 3050 B - 7740	
Selenio total	< 2	EPA 3050 B - 7740	
Sulfuro	< 50	EPA 9030 B / 9034 o EPA 9030 B / SM 4500-S D	
Tolueno	< 0,05	EPA 5021 A-8260 C	
Vanadio	< 100	EPA 3050 B-7910	
Xileno	< 0,05	EPA 5021 A-8260 C	
Cinc	< 5	EPA 3050 B-7950	

### 1.4.2.1 Resultados

En primera instancia se determinó el contenido de humedad de las muestras de suelos y sedimentos. Como se puede observar en la Figura 94, y como era de esperar, los porcentajes de humedad más elevados se presentaron en las muestras de sedimentos. Sin embargo, el contenido de humedad en algunas de las muestras de suelo también fue elevado, hecho que puede relacionarse la ubicación de las mismas. En este sentido, las muestras fueron tomadas en inmediaciones de cuerpos de agua, en valles donde se produce acumulación de agua y en la zona de descarga de la cloaca de Río Turbio, donde se evidencia la presencia de un bañado como consecuencia del drenaje superficial de la misma.

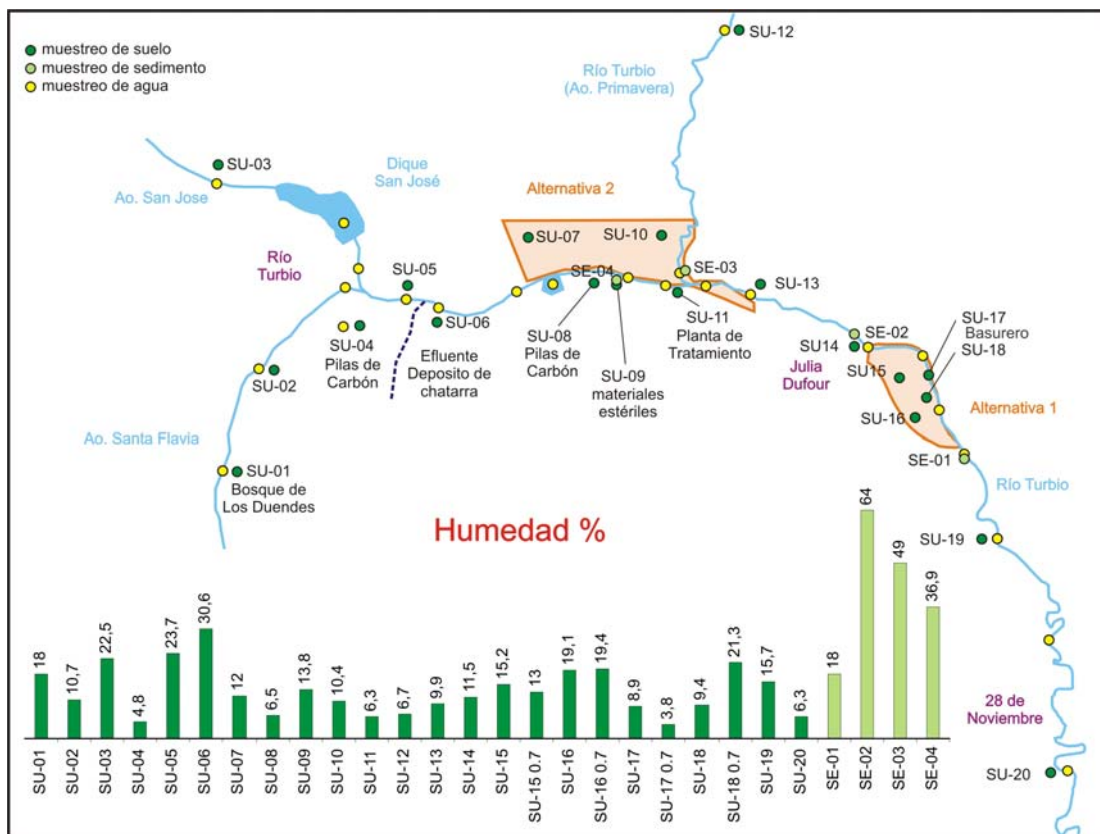


Figura 94. Contenido de humedad (%) de las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio

En relación al análisis de calidad de suelos, en el marco del presente estudio, se tomaron como referencia los niveles guías establecidos por el Decreto Nacional 831/93 los cuales han sido establecidos en base a Environment Canada (1991).

Los niveles de calidad determinan las características de carga de contaminantes límite de un determinado factor (suelo, agua, aire, etc.), de acuerdo al tipo de uso que se le puede dar al mismo. En este sentido el nivel de calidad corresponde a la caracterización química que puede tener el factor para procurar la buena disposición del mismo para el uso establecido.

En este caso y dado el tipo de usos predominantes en la zona se han analizado los valores relativos al uso agrícola, residencial e industrial de los suelos.

De los parámetros analizados, el cianuro libre, el cianuro total, el sulfuro, el antimonio total, el arsénico, el cromo hexavalente, el estaño, el mercurio total, el molibdeno, la plata total, el selenio total, el vanadio, el etilbenceno y los bifenilos policlorados (PCBs) presentaron niveles menores al límite de cuantificación asociado a la técnica analítica utilizada.

En este sentido, resulta importante mencionar que estos límites son inferiores o coinciden con los valores guía establecido para uso agrícola, residencial e industrial. Tal es el caso de los límites de cuantificación establecidos para el cianuro libre (0,5 mg/Kg), cianuro total (5 mg/Kg), mercurio total (0,8 mg/Kg) y selenio total (2 mg/Kg) que coinciden con los valores guía establecidos para uso agrícola, y antimonio total (20 mg/Kg).

Para el caso del estaño y el molibdeno se presenta una situación particular ya que el límite de cuantificación de estos parámetros (20 mg/Kg para ambos) es superior a los valores guía establecidos para uso agrícola (5 mg/Kg para ambos) y residencial (10 mg/Kg) solo en el segundo caso.

En relación a los valores de fluoruro detectados en suelo y sedimentos, las muestras SU-02, SU-03, SU-06, SU-12, SE-02 y SE-03 fueron las únicas que presentaron niveles superiores al límite de cuantificación. Sin embargo, estos valores fueron significativamente menores que los valores guía establecidos para uso agrícola, residencial e industrial (200, 400 y 2000 mg/Kg, respectivamente).

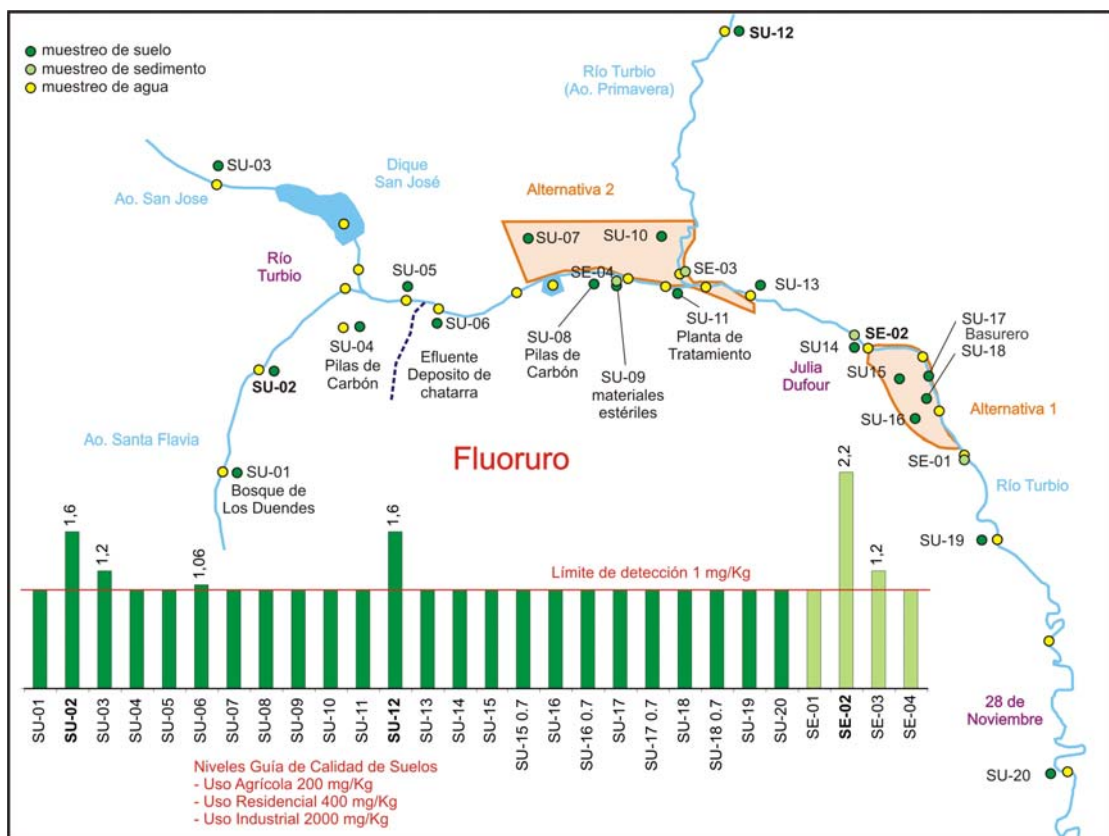


Figura 95. Valores de fluoruro (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg).

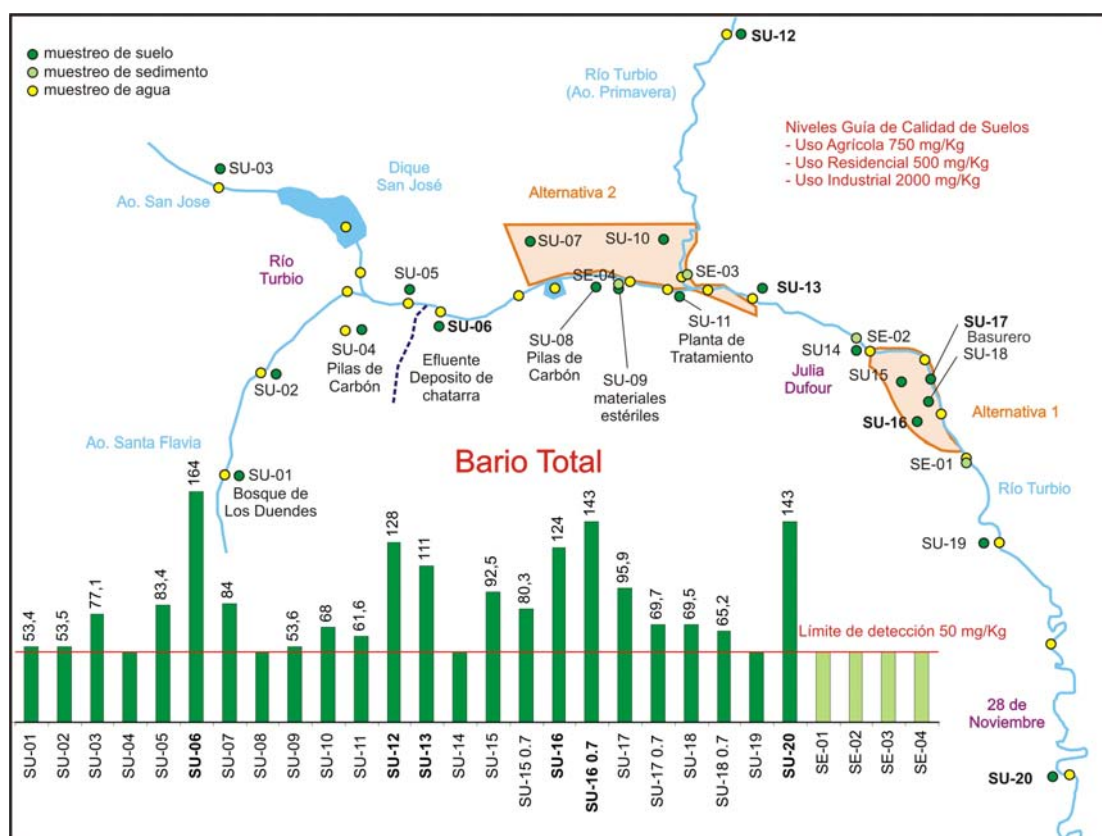
En función de las concentraciones registradas en suelo se destacan los valores obtenidos aguas arriba de la localidad de Río Turbio y en las inmediaciones del cruce de la Ruta Nacional N° 40 con el río Turbio (1,6 mg/Kg para ambos). En cuanto a los sedimentos, los mayores valores se registraron en las muestras tomadas sobre este río a la altura del poblado de Julia Dufour (Figura 95).

Los fluoruros son compuestos inorgánicos formados por la unión de uno o varios átomos de flúor a otro elemento químico. Los más comunes son el fluoruro cálcico ( $F_2Ca$ ), el fluoruro sódico ( $NaF$ ), el fluoruro de hidrógeno ó ácido fluorhídrico ( $HF$ ) y el ácido hidrofúosilícico, que se combina con los dos primeros para formar sales, denominadas comúnmente como fluorosilicatos.

Los fluoruros se liberan al medio ambiente de forma natural por la disolución de minerales, en emisiones volcánicas y en aerosoles marinos. Como aportes antropogénicos pueden considerarse los procesos de combustión de carbón y los desechos de varios procesos industriales, incluyendo la fabricación de acero, aluminio primario, cobre y níquel. Otros focos de generación importantes se localizan en industrias de fabricación de ladrillo y cerámica, y en la producción de fertilizantes.

El fluoruro sódico es utilizado en múltiples aplicaciones entre las que se destacan, la fluoración controlada del agua potable, la producción de vidrio y esmaltes y el uso como conservante en pegamentos y adhesivos (EPER, 2008).

Otro metal que se detectó en la mayoría de las muestras de suelo, no así en las de sedimentos, extraídas en el área de estudio fue el bario. Nuevamente, los valores obtenidos fueron menores que los valores guía establecidos para esta sustancia (750, 500 y 2000 mg/Kg) (Figura 96).

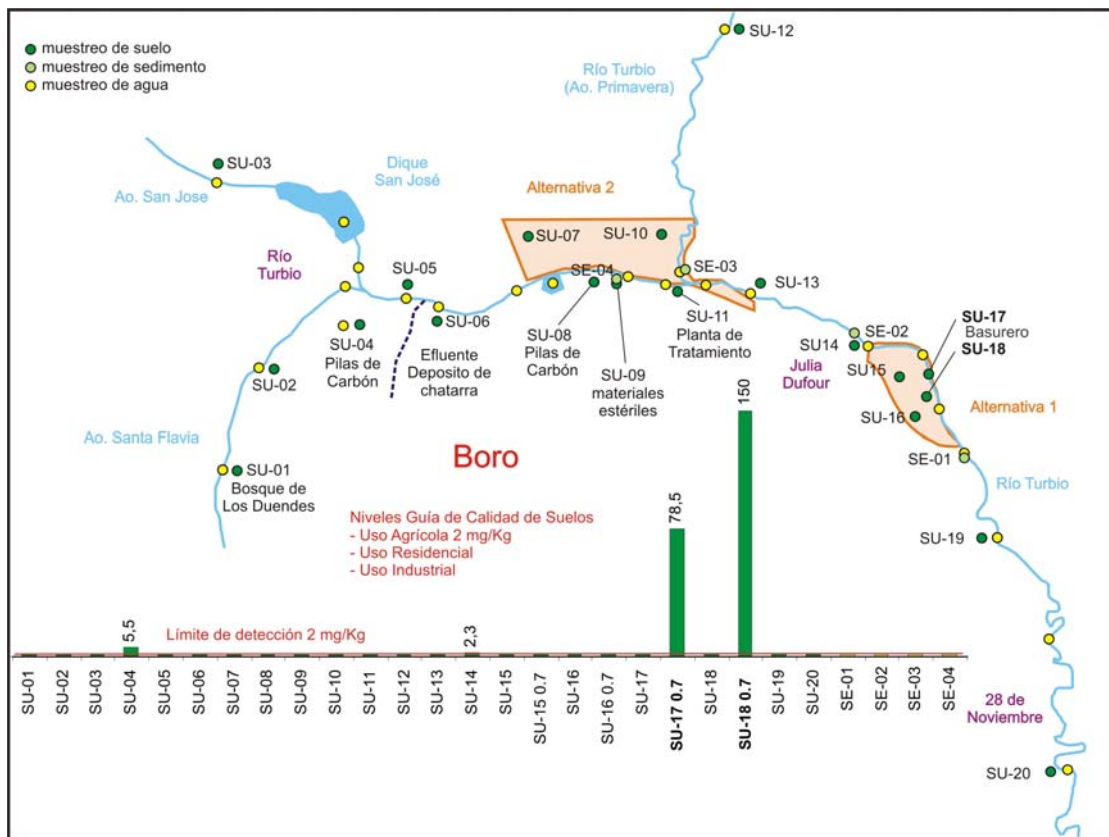


**Figura 96.** Valores de bario total (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

Al comparar los valores obtenidos, llama la atención el aumento puntual (164 mg/Kg) registrado (respecto de la media identificada) en áreas cernas a descargas de la zona industrial (sobre ruta de acceso a RT) (SU-06).

El bario puede ser incorporado al aire, y luego al suelo y al agua, durante actividades relacionadas a la minería, a la refinera, a la producción de compuestos con bario y a la combustión de carbón y petróleo. Las cenizas de carbón, las cuales pueden contener cantidades variables de bario, son también fuente de este elemento. El tiempo que perdura el bario en el aire, la tierra, el agua o en los sedimentos depende de la forma en que el mismo sea liberado. Los compuestos de bario tales como el sulfato de bario y el carbonato de bario, que no se disuelven bien en agua, pueden durar un largo tiempo en el ambiente. Los compuestos de bario tales como el cloruro de bario, nitrato de bario e hidróxido de bario, que se disuelven fácilmente en agua, usualmente no perduran en estas formas por mucho tiempo en el ambiente. El bario en estos compuestos rápidamente se combina con sulfatos y carbonatos que se encuentran de forma natural en el agua y se convierten en formas más duraderas (ATSDR, 2007a).

En relación al boro, la metodología utilizada para medir la concentración de este metal tiene un límite de cuantificación que coincide con el valor guía establecido para uso agrícola (2 mg/Kg).



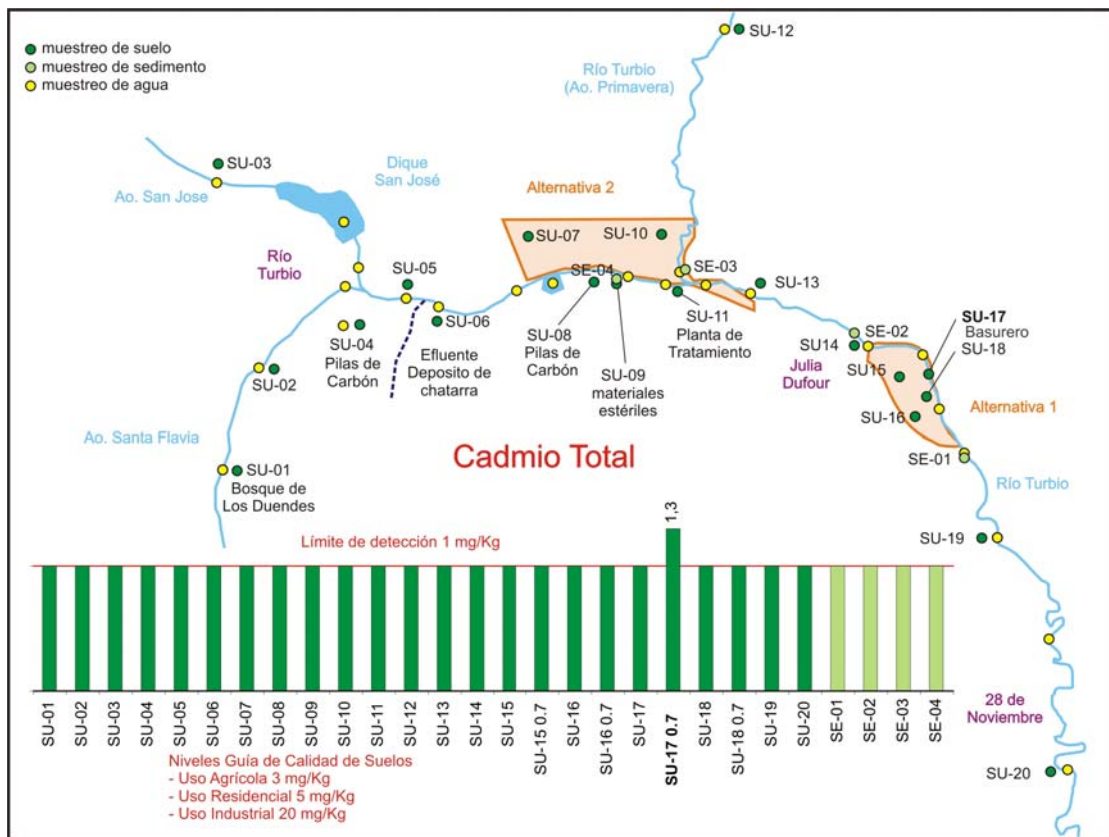
**Figura 97.** Valores de boro (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/km)

De todas las muestras analizadas, solo en aquellas extraídas en los puntos SU-04, SU-14, SU-17 y SU-18 se han detectado valores superiores a los niveles guía anteriormente mencionados (Figura 97).

El boro es un compuesto que se encuentra naturalmente en el ambiente. A menudo se encuentra combinado con otras sustancias formando compuestos llamados boratos. Entre los boratos más comunes están el ácido bórico, las sales de boratos y el óxido de boro. Antropogénicamente este compuesto se asocia a la fabricación de vidrio. Asimismo, el boro puede ser liberado al medio ambiente desde fuentes naturales tales como los océanos, volcanes y vapores geotérmicos (ATSDR, 2007b).

Las mayores concentraciones fueron registradas en las muestras SU-17 y SU-18, en la zona destinada al depósito de basura ubicado dentro del predio denominado a los fines del presente estudio como Alternativa 1. Sin embargo, las concentraciones más relevantes no fueron detectadas en superficie, sino que fueron halladas en profundidad (78,5 y 150 mg/Kg). El carácter puntual que exhibe este compuesto, estando presente en altas concentraciones solo en estas dos muestras, y la ubicación de las mismas en un sitio con presencia de basura, permiten relacionar los elevados niveles de boro con la existencia de desechos enterrados en la zona (Figura 109).

Respecto a los resultados obtenidos para cadmio total, sólo fue detectada su presencia en uno de los sitios de muestreo. Este se encuentra ubicado en la zona del basurero en la Alternativa 1 (SU-17) y a una profundidad de 0,7 m. No se detectó cadmio en ninguna otra muestra (Figura 98).

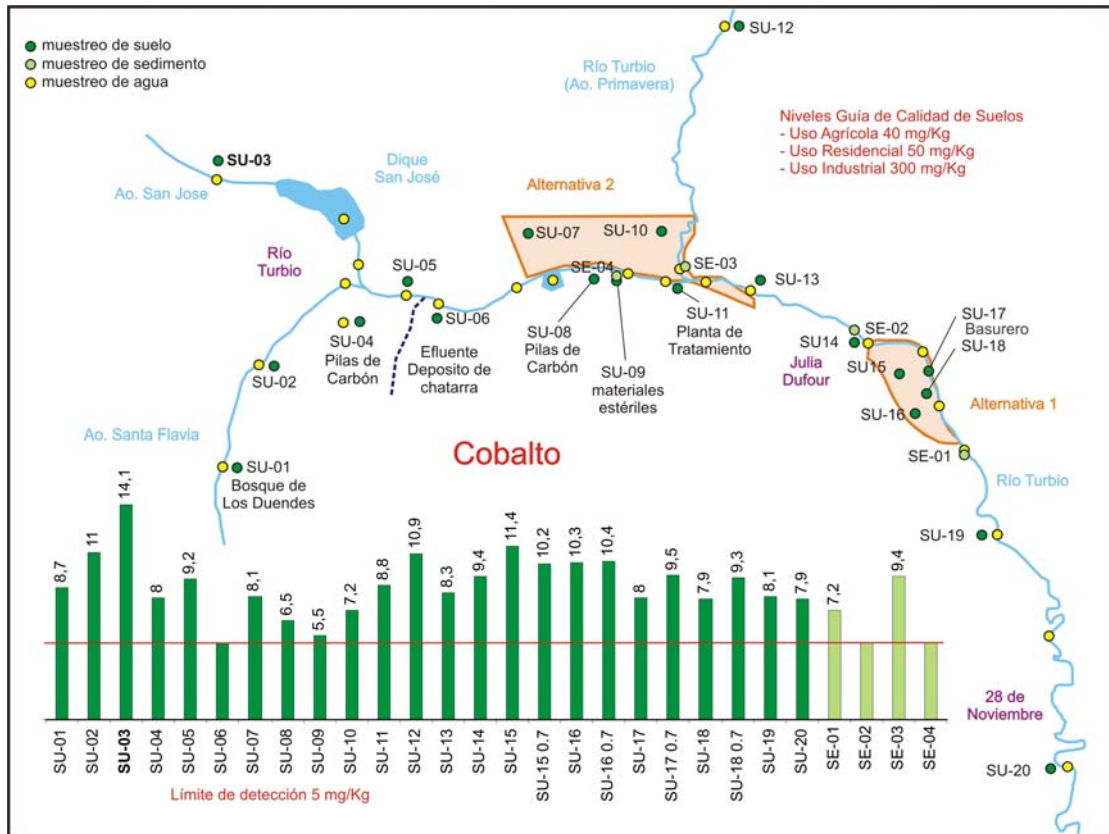


**Figura 98.** Valores de cadmio total (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

Si bien no se observa una diferencia tan marcada con los niveles registrados en otros puntos, la presencia de cadmio en la Alternativa 1 puede relacionarse con la presencia de desechos enterrados en la zona (Figura 109). De todas maneras, la concentración detectada (1,3 mg/Kg) no superó los valores guía para uso agrícola, residencial e industrial (3, 5, y 20 mg/Kg, respectivamente).



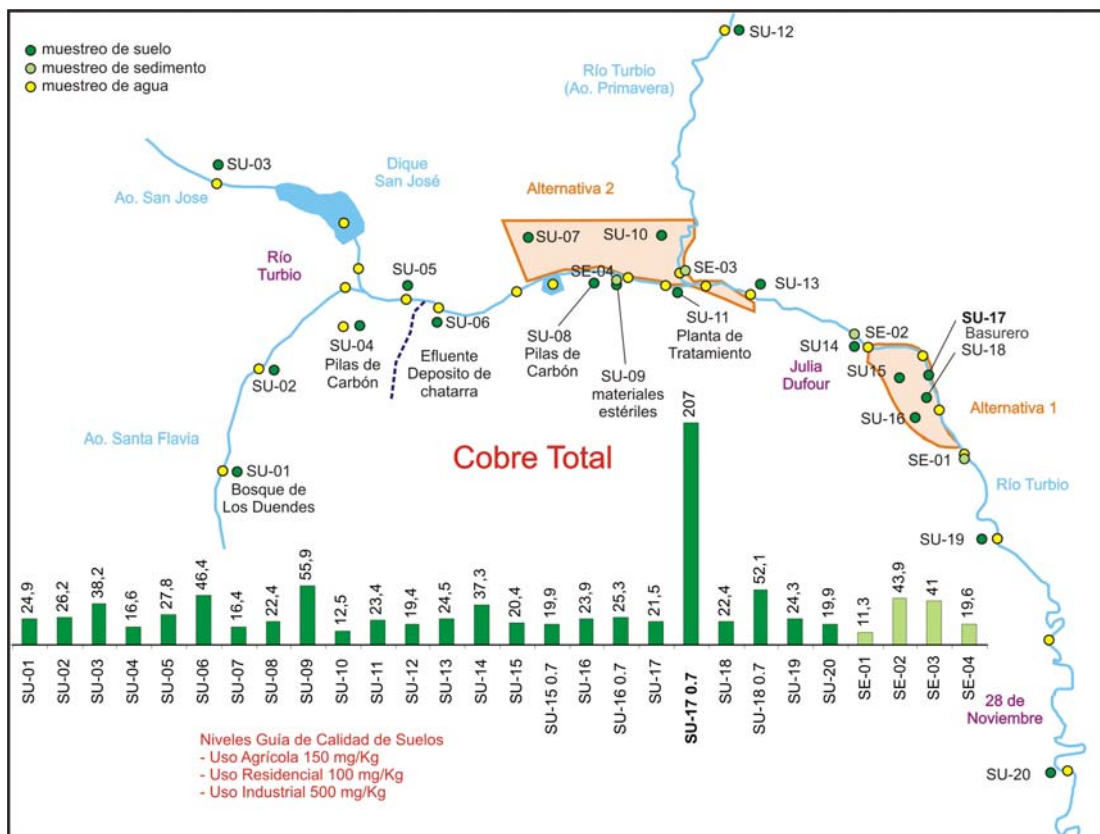
De acuerdo a los resultados obtenidos, la presencia de cobalto en los suelos y sedimentos del área de estudio parece ser una condición generalizada. Las concentraciones obtenidas de las muestras analizadas no superaron en ningún caso los valores guía para uso agrícola, residencial e industrial (40, 50 y 300 mg/Kg, respectivamente) (Figura 99).



**Figura 99.** Valores de cobalto (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

El cobalto es un elemento natural que se encuentra en las rocas, el suelo, el agua, plantas y animales. El mismo se usa para producir aleaciones empleadas en la manufactura de motores de aviones, imanes, herramientas para triturar y cortar. Los compuestos de cobalto se usan también para colorear vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana. Otra fuente antropogénica de cobalto corresponde a la quema de carbón o petróleo o la producción de aleaciones de cobalto (ATSDR, 2004).

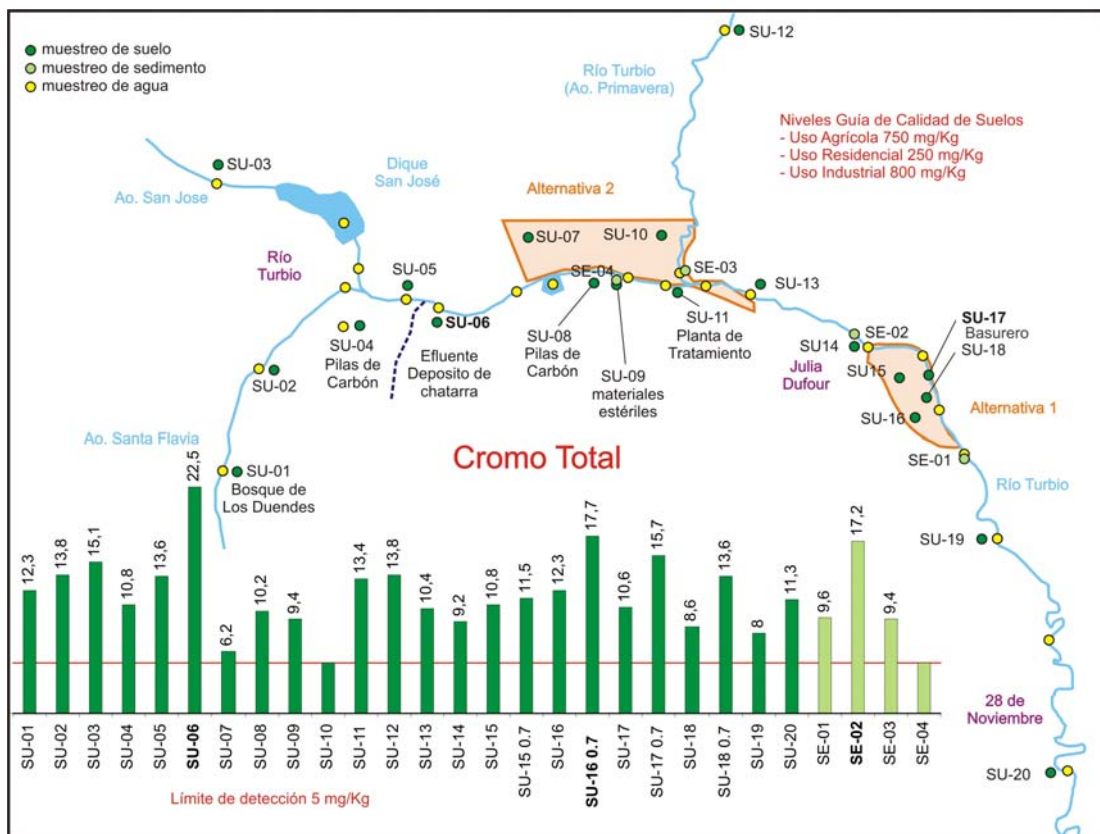
En relación al cobre, se detectó la presencia del mismo en todas las muestras de suelos y sedimentos analizadas. Sin embargo, dichos valores no superaron los valores guía para uso agrícola, residencial e industrial (150, 100 y 500 mg/Kg, respectivamente), con excepción de la muestra de suelo tomada en profundidad (a 0,7 m) en la zona del basurero de la Alternativa 1 (SU-17) (Figura 100), la cual presentó una concentración que superó más de 4 veces al resto de las muestras.



**Figura 100.** Valores de cobre total (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

La concentración de cobre en dicha muestra (207 mg/Kg) superó los valores recomendados para uso agrícola y residencial. Nuevamente, y de igual forma que lo expuesto para el boro, los niveles de cobre registrados en esta zona pueden ser relacionados con la presencia de desechos enterrados en el basurero.

La presencia de cromo total en los suelos y sedimentos del área de estudio es una situación generalizada, sin embargo las concentraciones detectadas en todas las muestras analizadas son inferiores a los valores guía de referencia (750, 250 y 800 mg/Kg, respectivamente) (Figura 101).



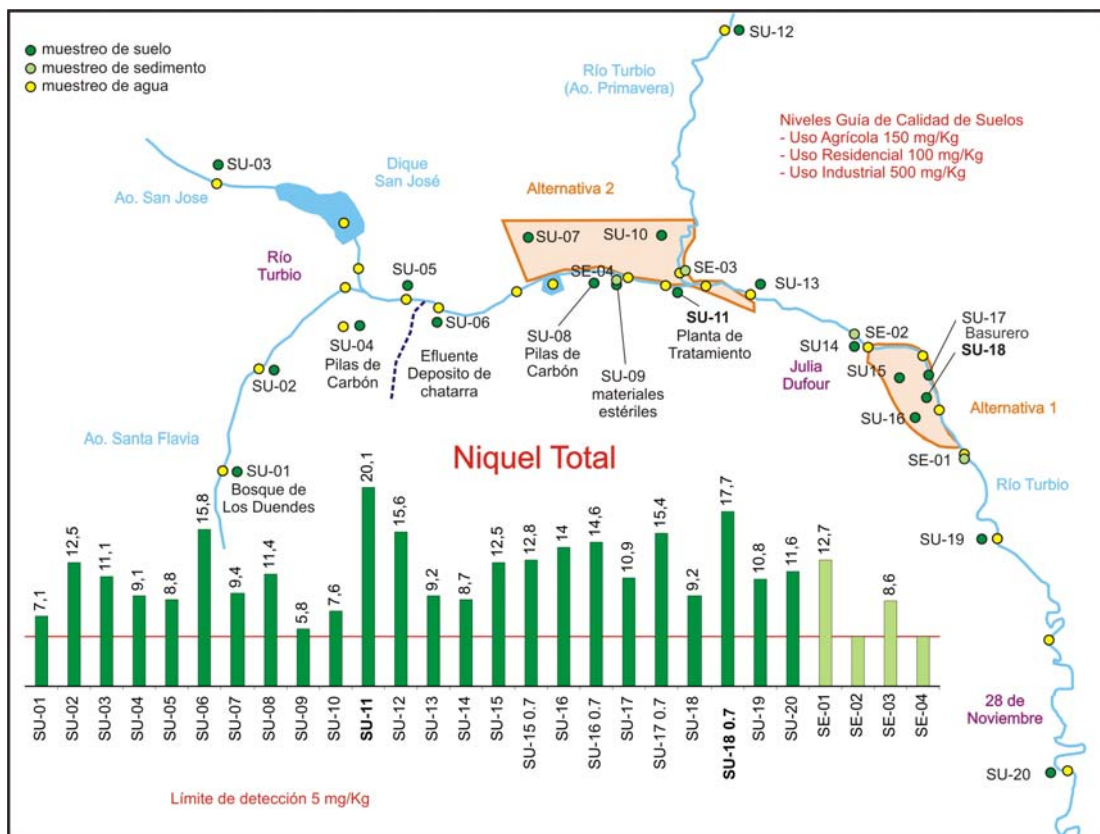
**Figura 101.** Valores de cromo total (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas, el suelo, y en polvo y gases volcánicos. El mismo está presente en el medio ambiente en varias formas diferentes. Las formas más comunes son el cromo (0), el cromo (III) y el cromo (VI). El cromo (III) ocurre en forma natural en el ambiente y es un elemento nutritivo esencial. El cromo (VI) y el cromo (0) son producidos generalmente por procesos industriales. En este sentido, en ninguna de las muestras analizadas se han obtenido resultados positivos de Cromo (VI) (< 5 mg/kg).

El cromo metálico, que es la forma de cromo (0), se usa para fabricar acero. El cromo (VI) y el cromo (III), por su parte, se usan en cromado, en tinturas y pigmentos, curtido de cuero y para preservar madera (ATSDR, 2000a).

En función de las concentraciones registradas, se destacan los valores obtenidos para las muestras de suelo extraídas en las inmediaciones de la descarga industrial (sobre la ruta de acceso a Río Turbio) (SU-06) (22,5 mg/Kg) y las muestras en profundidad tomadas dentro de la Alternativa 1 (SU-16 y SU-17) (17,7 y 15,7 mg/Kg, respectivamente). En cuanto a las muestras de sedimentos, en el sitio SE-02 se registraron los mayores niveles de este metal (17,2 mg/Kg).

El níquel es otro metal pesado presente de manera generalizada en los suelos y sedimentos del área de estudio, de acuerdo a los resultados obtenidos. De todas maneras, las concentraciones detectadas nunca superaron los valores guía contrastados (150, 100 y 500 mg/Kg para uso agrícola, residencial e industrial respectivamente) (Figura 102).

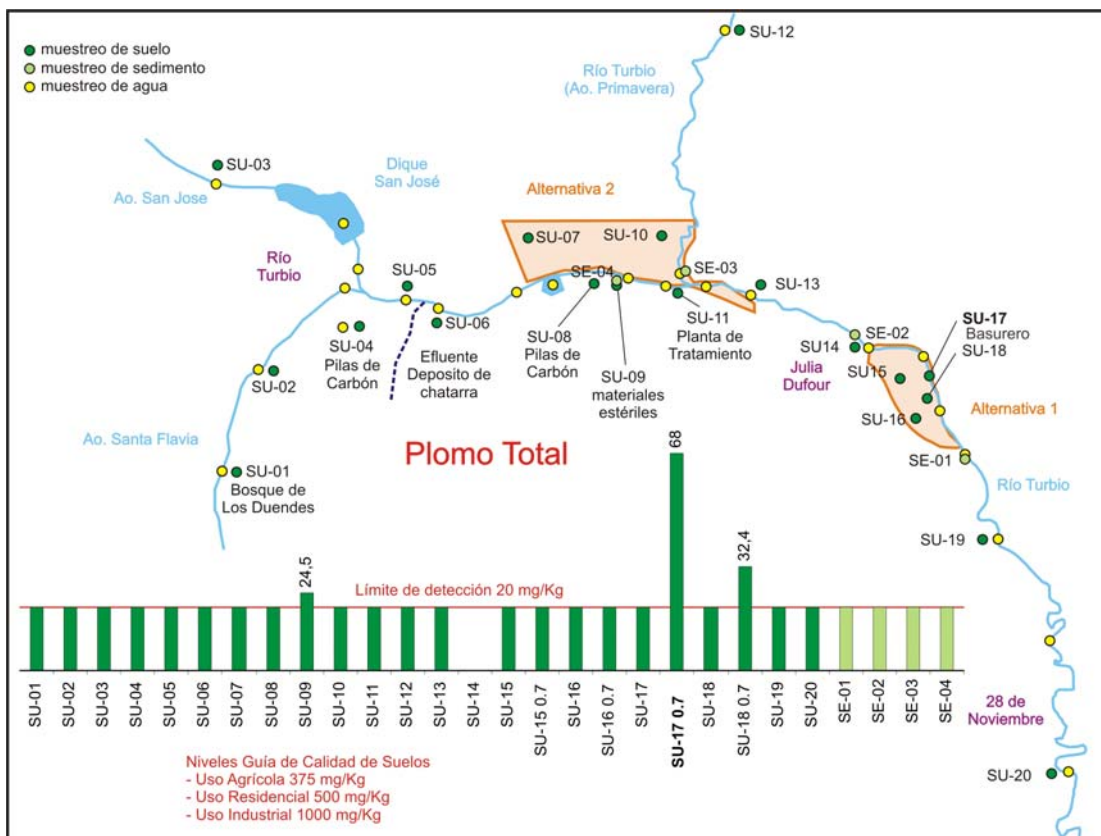


**Figura 102.** Valores de níquel total (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

El níquel se encuentra en forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos. Se encuentra en todos los suelos y es liberado por volcanes. Ocupa el lugar número 24 en la lista de elementos más abundantes. En el ambiente se encuentra principalmente combinado con oxígeno o azufre en forma de óxidos o sulfuros. Antropogénicamente, el níquel es liberado a la atmósfera cuando se realizan tareas de minería y por industrias que fabrican o usan níquel, aleaciones de níquel o compuestos de níquel (materia prima fundamental en la fabricación de acero inoxidable). También puede ser liberado por la quema de petróleo o carbón y por incineradores de basura.

Una gran cantidad de níquel liberada al ambiente termina en el suelo o en sedimento en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso (ATSDR, 2005a)

Respecto a la presencia de plomo, el mismo se encontró en concentraciones algo superiores al resto de los puntos muestreados, en tres muestras de suelo: la correspondiente a los sitios SU-09 donde se acumulan los estériles, y SU17 y SU-18 donde se localiza el basurero de la Alternativa 1, en las muestras extraídas a 0,7 m de profundidad (Figura 103). De todas maneras, los valores detectados no superaron los valores guía establecidos para uso agrícola, residencial o industrial (375, 500 y 1000 mg/Kg, respectivamente).



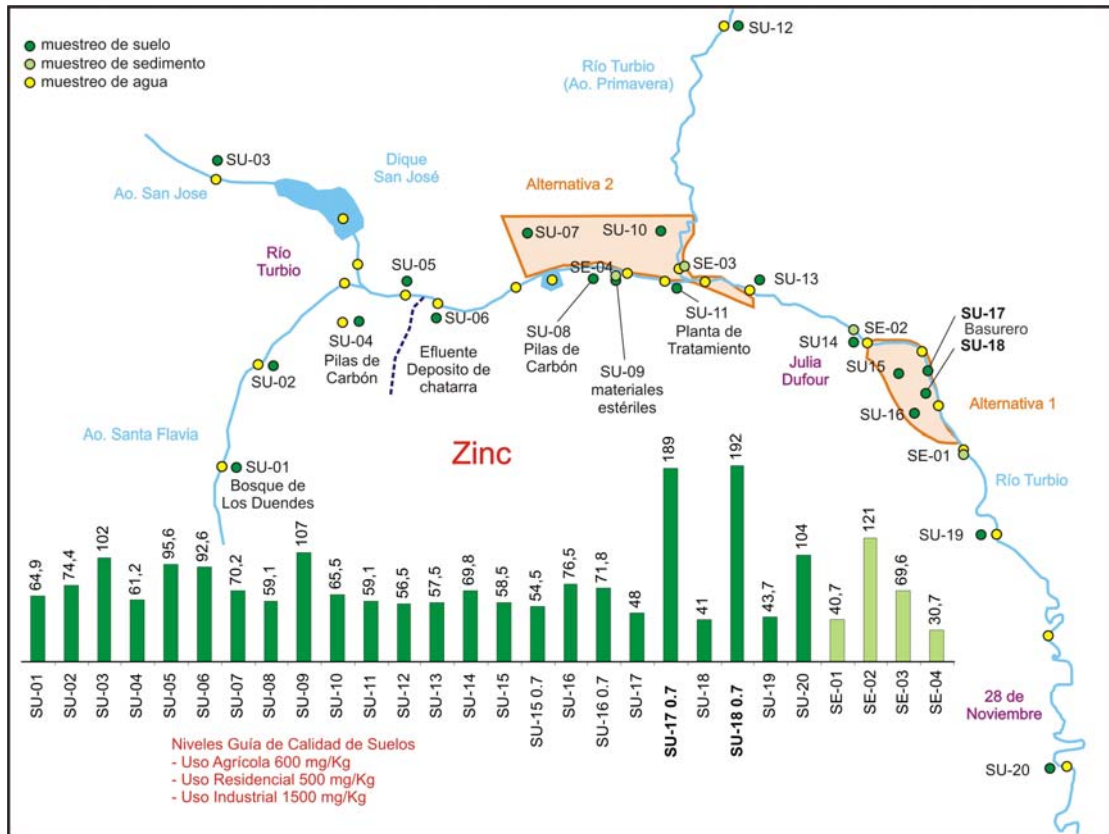
**Figura 103.** Valores de plomo total (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

La presencia de plomo en el suelo del basurero puede relacionarse con la presencia de desechos enterrados en el predio, que fueron detectados en el campo (Figura 109).

El plomo es un metal gris-azulado que se presenta naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El mismo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente, proviniendo, la mayor parte, de actividades como la minería, manufactura industrial y la quema combustibles fósiles.

El plomo se utiliza en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X (ATSDR, 2007c)

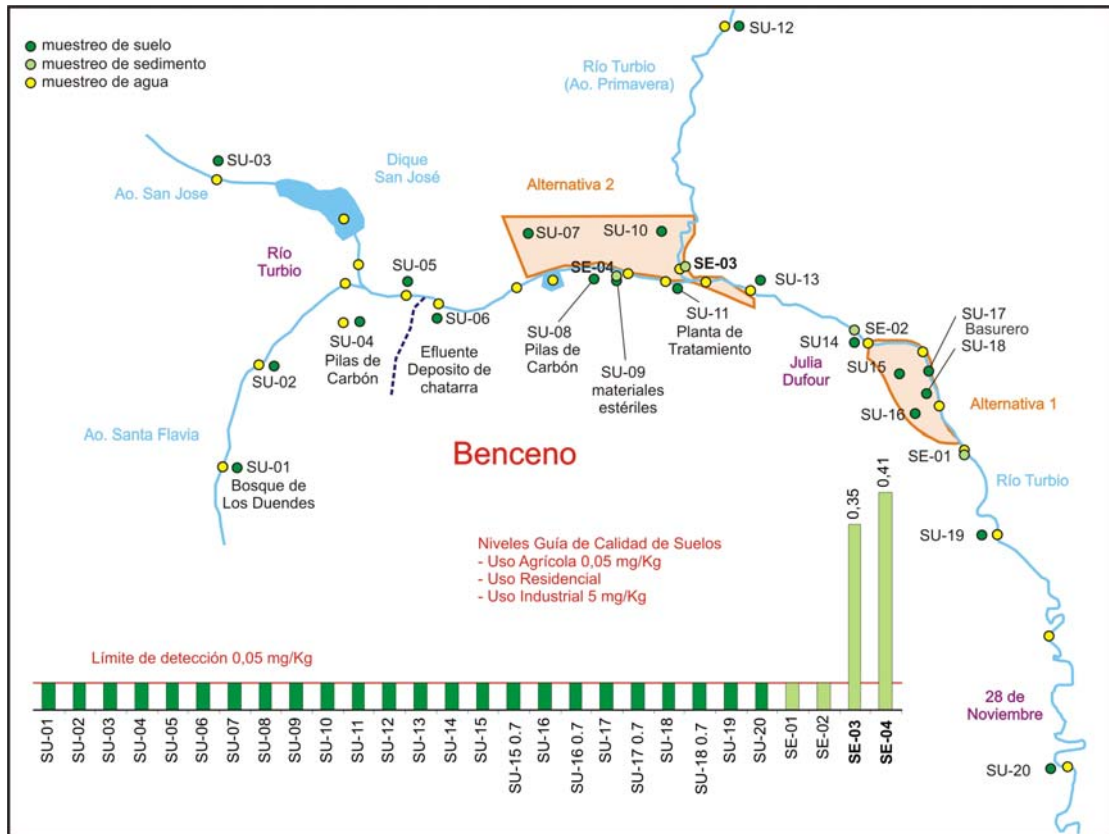
Como se puede observar en la Figura 104, se detectó zinc en todas las muestras de suelos y sedimentos analizadas, especialmente en las muestras de suelo enterrado de los sitios de muestreo localizados en la Alternativa 1 (SU-17 y SU-18) en el sector en donde se observa el depósito de basura; pero incluso estos valores (189 y 192 mg/Kg, respectivamente) fueron inferiores a los valores guías contrastados (600, 500 y 1500 mg/kg, uso agrícola, residencial e industrial respectivamente).



**Figura 104.** Valores de zinc (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

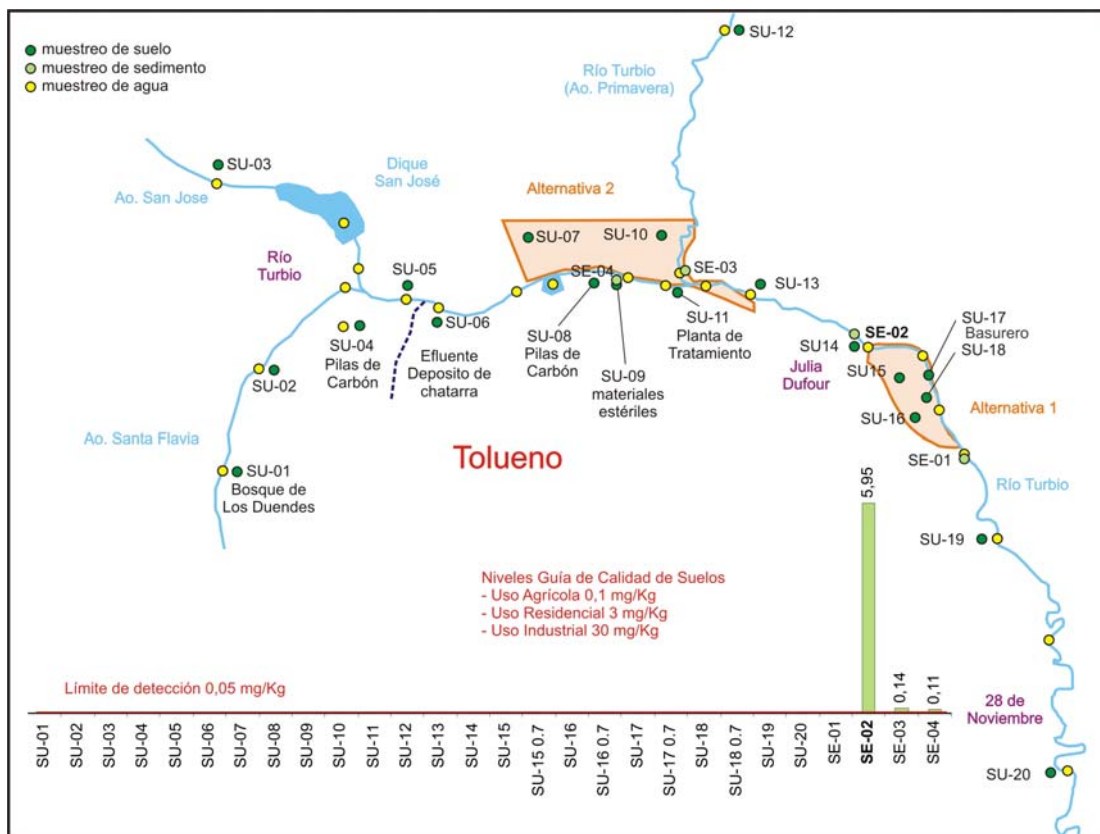
El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. Cierta cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales. Como fuentes antropogénicas pueden considerarse la minería, la producción de acero, la combustión de petróleo y la incineración de basura. La mayor parte del zinc en el suelo permanece adherido a partículas y no se disuelve en agua (ATSDR, 2005b)

Respecto a los hidrocarburos aromáticos analizados (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), el tolueno y el benceno solo fueron detectados en muestras de sedimentos; en cambio el xileno sólo fue detectado en una muestra de suelo. Finalmente, y como se mencionó anteriormente, en ninguna de las muestras tomadas se registraron niveles de etilbenceno superiores al límite de cuantificación.



**Figura 105.** Valores de benceno (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

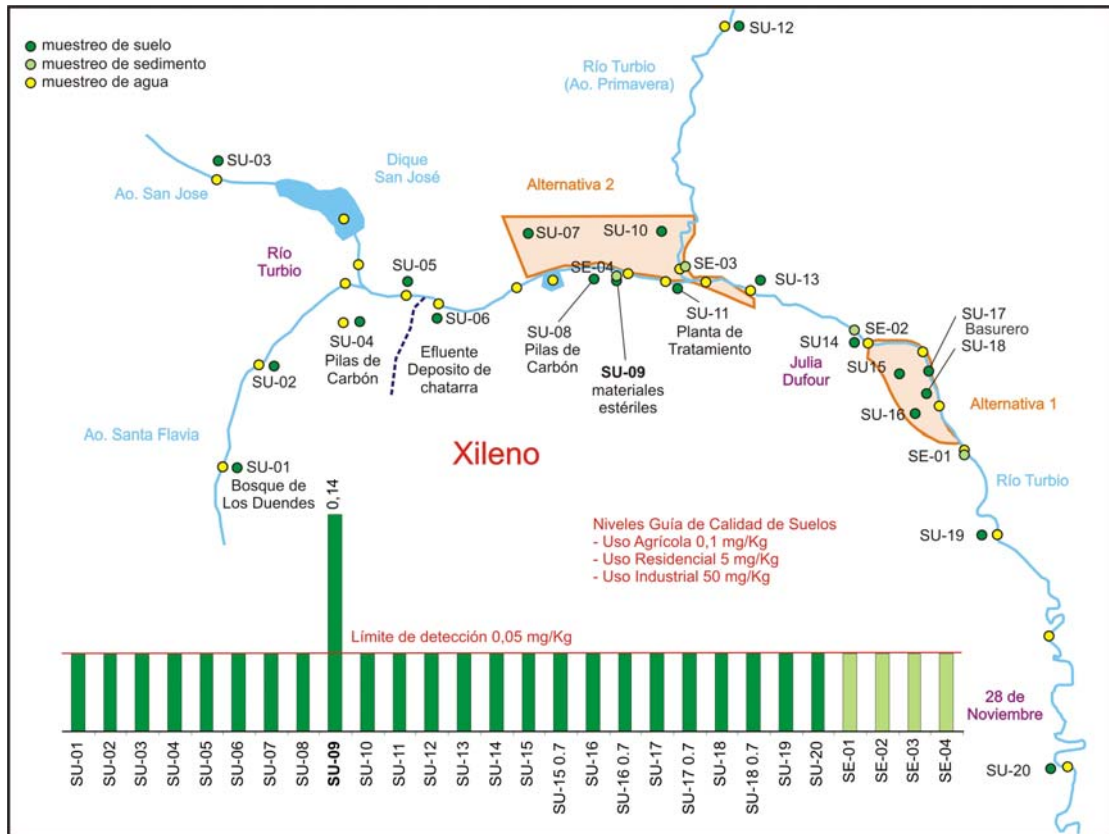
La concentración de benceno en las muestras de sedimento extraídas del arroyo San José (SE-04) y del río Turbio aguas arriba de la confluencia con el arroyo San José (aguas abajo de la Alternativa 2) (SE-03) fueron superiores al nivel guía para uso agrícola (0,05 mg/Kg), no así del nivel guía para uso industrial (5 mg/Kg) (Figura 105).



**Figura 106.** Valores de tolueno (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

En los dos sitios en donde se evidenció la presencia de benceno (muestras de sedimento de los arroyos San José (SE-04) y río Turbio aguas arriba de la confluencia con el arroyo San José (SE-03)), también se ha detectado la presencia de tolueno. Si bien en estos sitios el mismo presentó concentraciones superiores al nivel guía para uso agrícola (0,1 mg/Kg), fue la muestra de sedimentos tomada sobre el río Turbio, aguas abajo de las instalaciones de YCRT (SE-02), donde se registro la mayor concentración (5,95 mg/Kg), la que a su vez superó el valor guía para uso residencial (3 mg/Kg) (Figura 106).





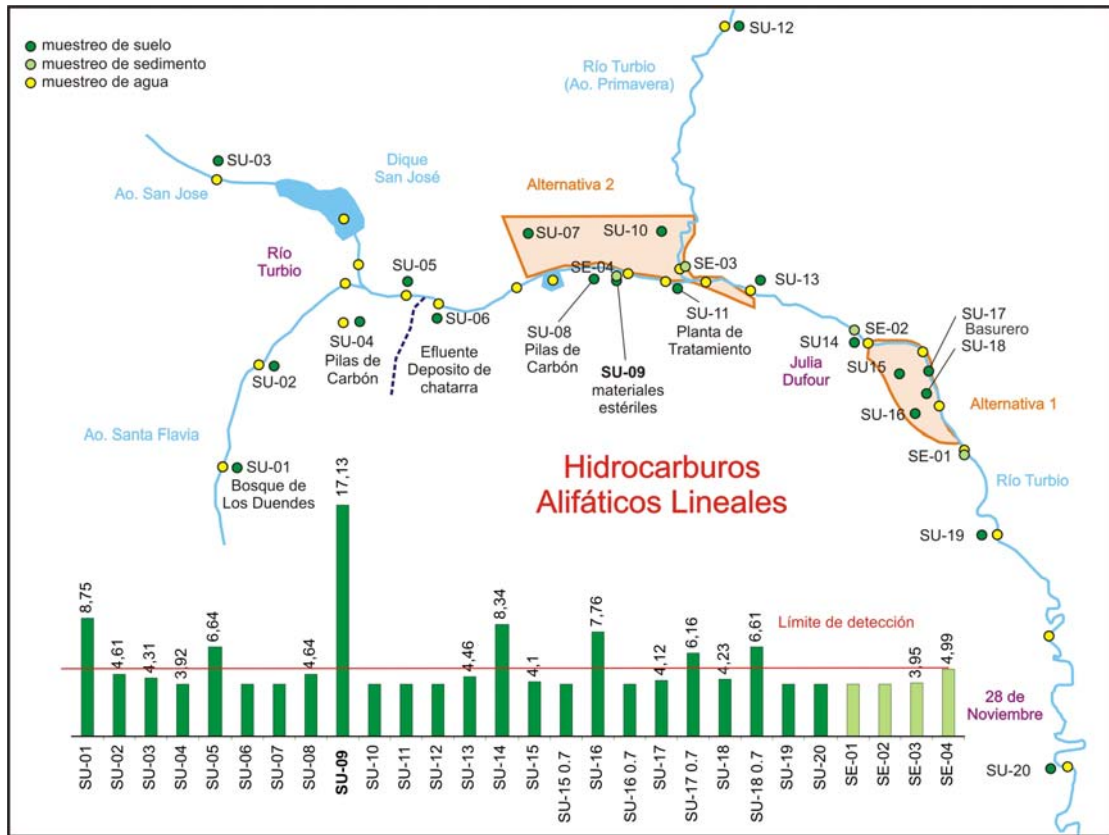
**Figura 107.** Valores de xileno (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

En cuanto al xileno, la única muestra en la que se detectó la presencia de este compuesto (sitio de descarte de materiales estériles (SU-09)) se encuentra ubicada en la misma zona que la muestra de sedimentos en donde también fueron detectados benceno, principalmente, y tolueno en menor medida. El valor de xileno detectado en esta muestra de suelo (0,14 mg/Kg) fue superior al nivel guía para uso agrícola (0,1 mg/Kg) pero inferior a los recomendados para uso residencial e industrial (5 y 50 mg/Kg, respectivamente) (Figura 107).

Los niveles de hidrocarburos aromáticos benceno, tolueno y xileno en el aire pueden aumentar por emisiones generadas por la combustión de carbón y petróleo (ATSDR, 2007d; 2000b y 2007e). También pueden ser liberados a partir de los hornos de coque, de la manufactura de metales no ferrosos, de la minería de oro, del procesamiento de la madera, de la minería de carbón y de la manufactura de textiles (EPA, Technical Factsheet).

Desde el aire pueden ser arrastrados al suelo por la lluvia o la nieve, donde tardan más tiempo pero finalmente son degradados por los microorganismos del suelo. Estas sustancias pueden ser incorporadas por plantas y animales, pero no se concentran o acumulan en altos niveles porque la mayoría de estos organismos pueden degradarlas. Debido a la fácil evaporación de los hidrocarburos aromáticos, raramente se encuentran en concentraciones altas en la superficie del suelo o el agua superficial, a menos que recientemente haya habido un derrame o que exista una fuente de contaminación continua (ATSDR).

En la Figura 108 se presentan las concentraciones obtenidas de la suma de los valores de los 38 hidrocarburos alifáticos lineales analizados (nC6 a nC44) en las muestras de suelo y sedimento.



**Figura 108.** Valores de hidrocarburos alifáticos lineales (mg/Kg) en las muestras de suelos y sedimentos del área de estudio. Valores guía establecidos por el Decreto Nacional 831/93 (mg/kg)

Respecto a los resultados obtenidos, se destaca la concentración de hidrocarburos alifáticos lineales presentes en el sitio donde se descartan los materiales estériles (17,13 mg/Kg), donde también se habían detectado concentración elevada de xileno y benceno.

En resumen, para la mayor parte de las determinaciones los valores referenciales más elevados se constituyen en los puntos de muestreo asociados al área de disposición de residuos, ubicada en el predio de la Alternativa 1.

Como se puede observar en la Figura 109, como resultado de la acción erosiva del río es posible identificar a simple vista desechos enterrados hasta los 2 metros de profundidad, aproximadamente.



**Figura 109.** Borde del predio de la Alternativa 1 erosionado por el río. Presencia de desechos de origen desconocido enterrados.

Asimismo, se registró contaminación puntual en el sitio donde se descartan los materiales estériles, desecho de la actividad minera. En dicho sitio se detectaron valores elevados de hidrocarburos alifáticos lineales, benceno y xileno incluso por arriba del valor guía para uso agrícola.

## 1.5 HIDROLOGÍA

### 1.5.1 Cursos de Agua Superficiales

#### 1.5.1.1 Cuenca del Río Gallegos

El área de estudio se encuentra contenida dentro de la Cuenca Río Gallegos – Río Chico, ubicada en la región austral de la provincia de Santa Cruz. Esta cuenca atraviesa el territorio argentino en dirección oeste-este hasta desaguar en el océano Atlántico. La misma ocupa una superficie de 9.553,81 km<sup>2</sup> (SSRH, 2002).

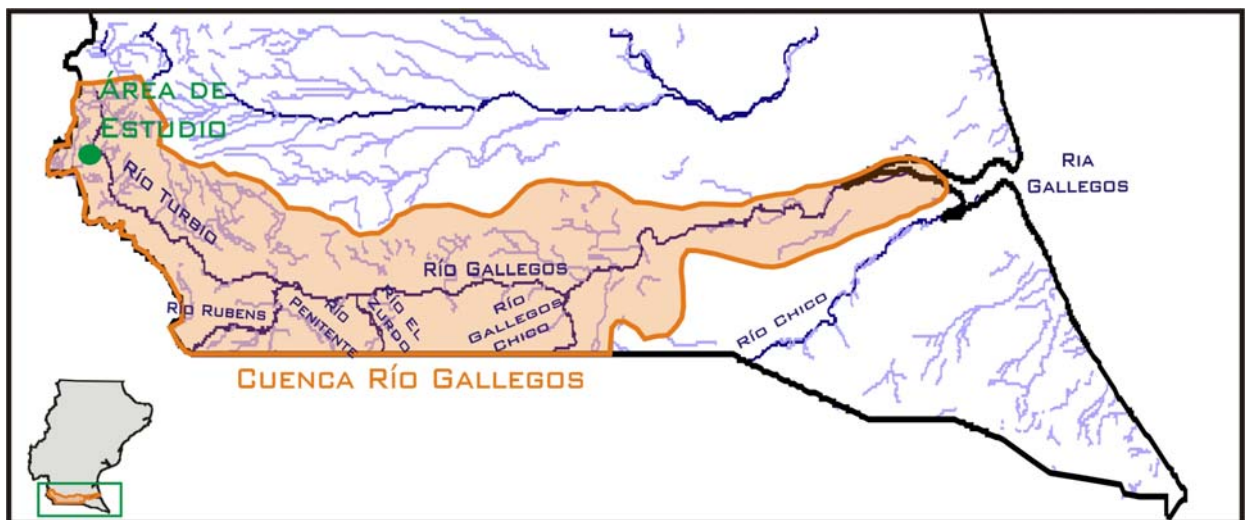


Figura 110. Cuenca del Río Gallegos

En las nacientes del río Gallegos se encuentra el río Turbio, el cual nace de la confluencia de varios arroyos y, en su primer tramo, fluye con sentido Este – Oeste. A la altura de la Estancia La Primavera, el curso describe un arco y se direcciona hacia al Sur limitado hacia el oeste por la Cordillera de los Andes y hacia el norte y el este por la cordillera Chica y la meseta Latorre.

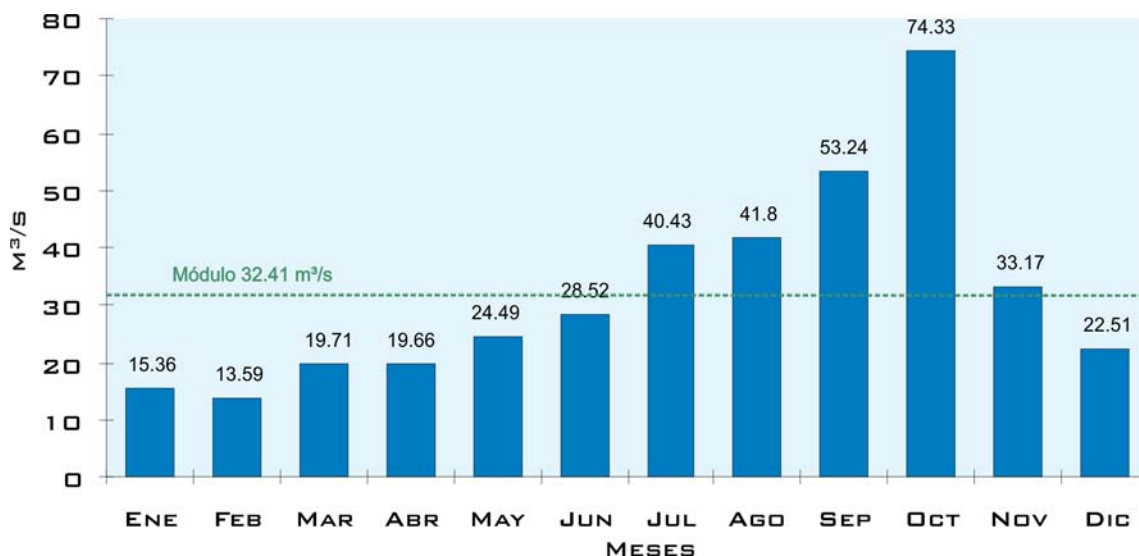
En las inmediaciones del poblado El Turbio, el curso se desvía hacia el sudeste y fluye formando un curso sinuoso hasta que a la altura del cerro Zorro (209 m IGM) cambia su rumbo hacia el este. Por margen izquierda, confluye el chorrillo el Cóndor, emisario de la laguna homónima, de carácter intermitente, cuyo escurrimiento depende de los niveles en la laguna.

Luego de recibir por margen izquierda las aguas del chorrillo Cóndor, a la altura de la Estancia Glencross, confluye con las aguas que provienen de la junta de los ríos Rubens y Penitente (según las cartas topográficas, el río Gallegos nace en la junta de estos dos, a la altura de Puente Blanco) (INA, 1998). Resulta importante mencionar que el principal aporte que recibe en el valle intermedio es el del río Penitente.

A partir de aquí, el valle se orienta hacia el Oeste recibiendo los principales aportes de la margen Sur (ríos Zurdo, Gallegos Chicos y chorrillo Cóndor). Aguas abajo de su unión con el río Zurdo, se produce la ampliación del valle del río Gallegos, el cual continúa su marcha hacia el este formando meandros. Aguas abajo, el río Gallegos Chico confluye en un lugar llamado Bella Vista.

En su tramo final, el río cambia su rumbo hacia el noreste y lo mantiene siguiendo un curso bastante sinuoso hasta desembocar en la ría Gallegos, en la cual también desagua el río Chico.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) posee una estación hidrométrica sobre el río Gallegos ubicada a la altura de Puente Blanco. Los valores medios mensuales de caudales medidos en esta estación durante el período 1993-2004 se presentan en la Figura 111.



**Figura 111.** Promedio de los caudales medios mensuales del río Gallegos en Puente Blanco. Período: 1993 – 2004. Fuente: SSRH.

Como puede observarse el máximo promedio de los caudales medios mensuales le corresponde al mes de octubre (74,33 m<sup>3</sup>/s). El caudal medio mensual máximo registrado es de 184,9 m<sup>3</sup>/s (octubre de 1995), mientras que el módulo del río en este punto es de 32,41 m<sup>3</sup>/s.

En líneas generales las crecidas más significativas se registran en la época de deshielo ya que en esta zona las precipitaciones no son intensas. Fuera del período de deshielo, el escurrimiento se origina a partir de las lluvias en el área de nacientes.

### 1.5.1.2 Cursos de Agua en el Área de Estudio

Dentro de esta cuenca, el área de estudio se encuentra disectada por el sistema del río Turbio, el cual está conformado por diversos cuerpos de agua, entre los que se destacan el arroyo San José y el arroyo Santa Flavia (Figura 112) (Anexo I – Mapa I-8).



Figura 112. Cursos de agua dentro en la zona de estudio.

Resulta importante mencionar que el tramo del río Turbio que se extiende desde la Estancia La Primavera hasta la confluencia de este río con el arroyo San José, es llamado por los pobladores locales como arroyo Primavera. Posiblemente por esta razón es que en muchas de las publicaciones en las que se hace referencia a este curso de agua el mismo reciba este nombre. Sin embargo, a los fines del presente estudio, se tomará como referencia la carta topográfica del IGM, para la cual el tramo en cuestión forma parte del río Turbio.

El arroyo San José nace en la Sierra Dorotea (800 m), en el límite con Chile (Proyecto PASMA, 2001; INA, 1999) presenta una dirección oeste – este. Antes de pasar por la localidad de Río Turbio, este curso de agua presenta un embalse, el cual tuvo como objetivo primordial servir como fuente de agua para la población de la localidad anteriormente mencionada (Figura 113). Sin embargo, en la actualidad el mismo no es utilizado, ya que hoy en día la localidad se abastece de agua de pozo, principalmente ubicados en la Vega San José, la cual se encuentra aguas abajo del embalse.



**Figura 113.** Embalse San José

Luego del embalse, y en el sector de la vega, el curso de agua recibe las aguas del arroyo Santa Flavia. Aguas abajo de esta confluencia el arroyo continúa con el mismo nombre (Figura 114), hasta que finalmente se une con el río Turbio (también conocido en este sector como arroyo Primavera). Este último tramo ha sido rectificado, transcurrido paralelo a las vías del ferrocarril, y sobre el mismo se ha generado un endicamiento. En este, se pueden observar acumulaciones de residuos de carbón y chatarra a ambos lados del cauce. Aproximadamente a 5 km de Río Turbio, se emplaza la planta de procesamiento de carbón de YCRT.



**Figura 114.** Arroyo San José aguas abajo de la localidad de Río Turbio

El arroyo Santa Flavia, en su primer tramo, discurre en dirección sur – norte, atravesando el bosque de Lengua ubicado al suroeste de la localidad de Río Turbio. Aguas arriba de dicha localidad el curso de agua cambia su rumbo, avanzando en sentido suroeste-noreste hasta su confluencia con el arroyo San José.

Como se mencionó anteriormente el río Turbio presenta una orientación oeste – este, hasta la altura de la Estancia la Primavera, donde junta sus aguas con las del arroyo de Oro y con varios otros arroyos que surgen de la cordillera chica. Desde allí el río adopta una dirección sur, presentando un amplio valle. Resulta importante mencionar, que este tramo (conocido como arroyo Primavera) presenta una gran intervención antrópica como resultado de la extracción de áridos (Figura 115).



**Figura 115.** Río Turbio, aguas arriba de la confluencia con el arroyo San José (arroyo Primavera)



Luego de recibir las aguas del arroyo San José, a la altura del poblado de Julia Dufour, el río toma rumbo hacia el SE. En esta zona, dentro del valle del río se observa la existencia de un basurero (Figura 116), luego del cual el cauce se vuelve muy meandroso.

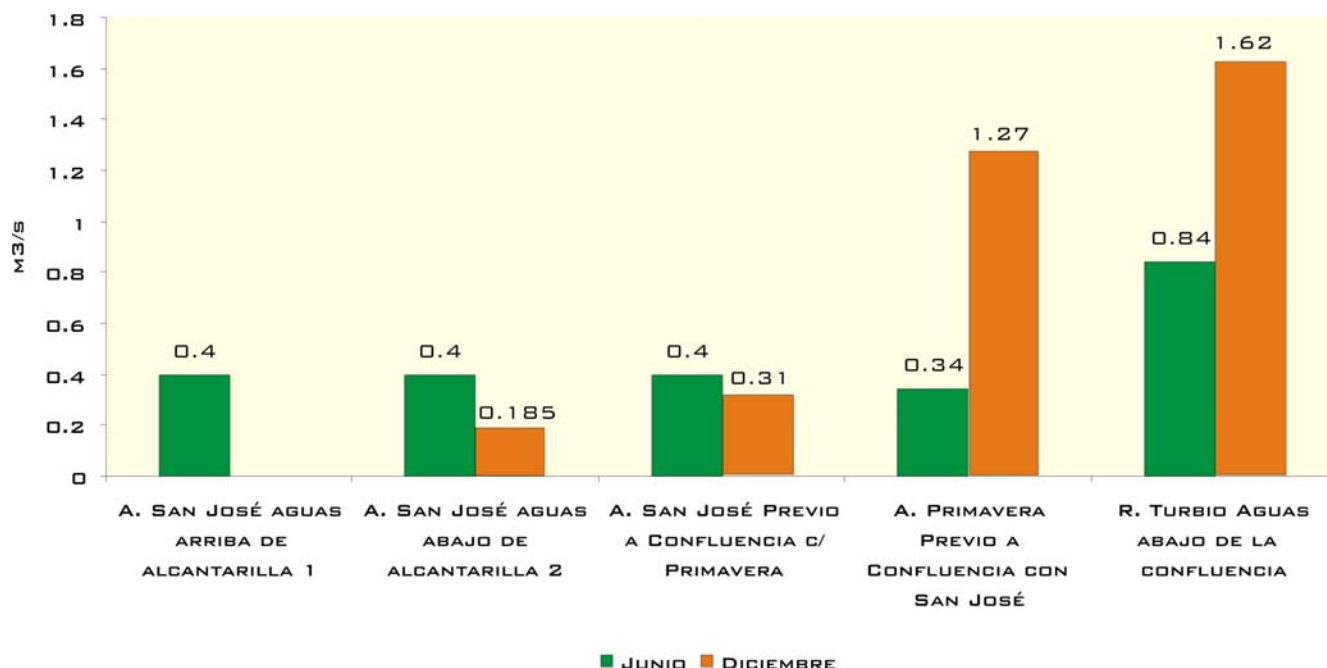


**Figura 116.** Basurero sobre el valle del río Turbio, aguas abajo de la confluencia del mismo con el arroyo San José.

### Caudal

La información referente al caudal que presentan estos cursos de agua es escasa. Sin embargo, a partir de la recopilación de información secundaria se ha logrado reunir una serie de datos que permiten tener una idea aproximada del mismo.

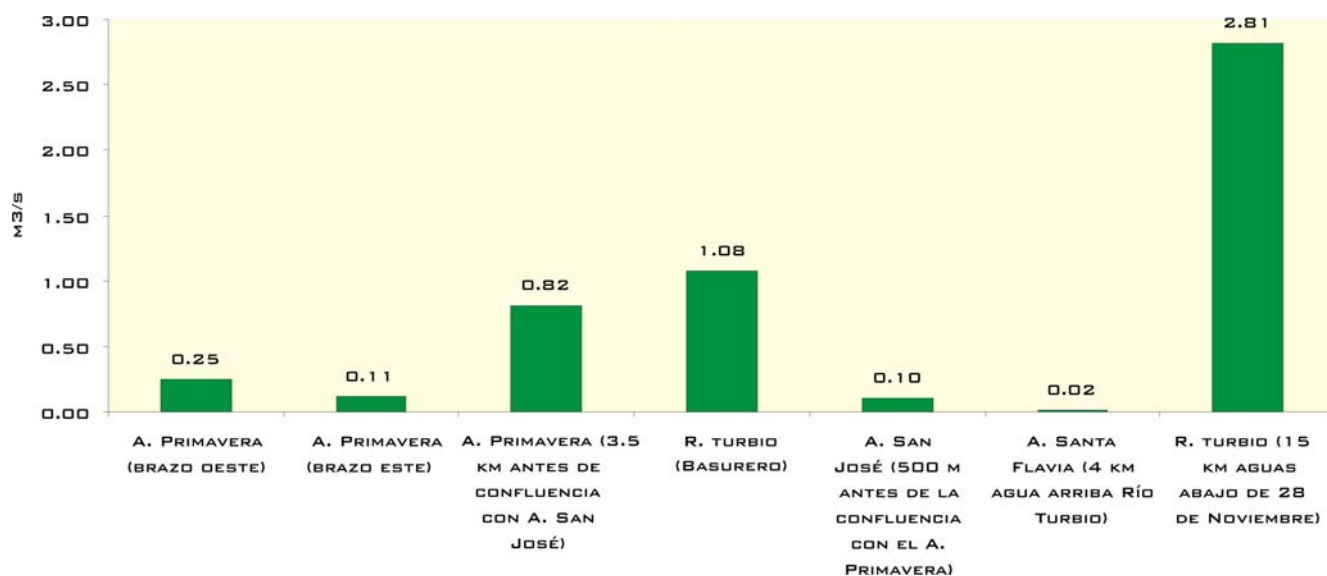
Según el estudio realizado por UNLP-DNRH (1996), citado en el informe del INA (1998) se estima que el arroyo Primavera (tramo del río Turbio anterior a la confluencia con el arroyo San José) presenta un módulo aproximado de 3 m<sup>3</sup>/s, mientras que el río Turbio, luego de la confluencia con el arroyo San José, presenta un módulo de 7 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, los valores obtenidos en el estudio realizado por el INA (1999) durante el año 1998 fueron inferiores (Figura 117).



**Figura 117.** Caudales del arroyo Primavera, San José y del río Turbio. Fuente: Elaboración propia en base a INA (1999).

Como se mencionó anteriormente para la cuenca en general, y como puede observarse en la Figura 118 para esta zona en particular, durante el periodo más cálido del año se registran los mayores caudales, lo cual está relacionado con el aporte de agua por deshielo.

En el marco del proyecto PASMA (2001) se realizaron una serie de aforos durante el mes de abril del año 2000 sobre el arroyo Santa Flavia, el arroyo San José y para el río Turbio antes (arroyo Primavera) y después de la confluencia con el arroyo San José (Figura 118).



**Figura 118.** Caudales del arroyo Santa Flavia, Primavera, San José y del río Turbio. Fuente: Elaboración propia en base a PASMA (2000).

Finalmente, en el marco del proyecto de la Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio, se efectuó, durante el mes de abril, el aforo del arroyo San José y el río Turbio en secciones regulares de los mismos por medio de dos técnicas diferentes obteniéndose los resultados que se observan en la Figura 119.

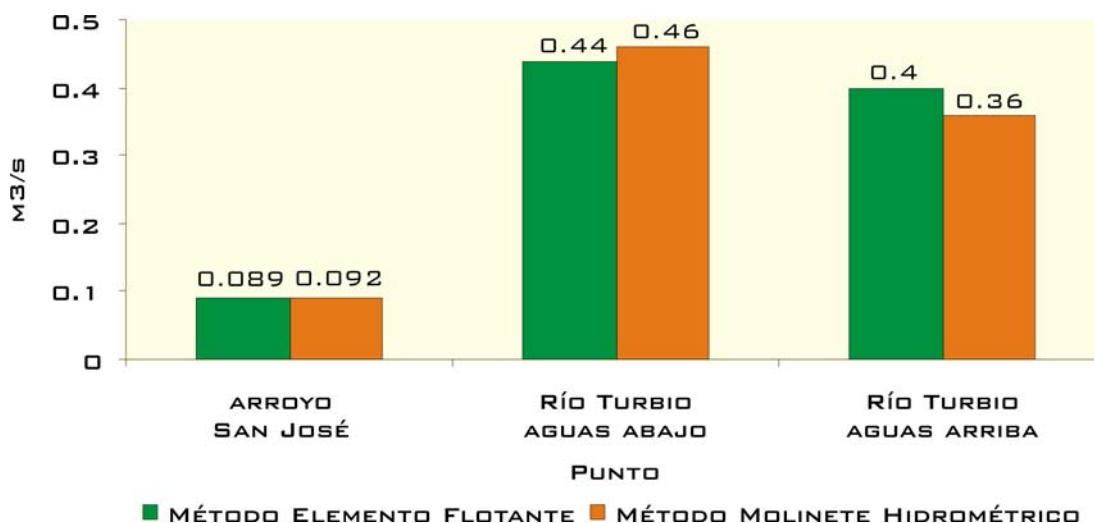


Figura 119. Caudales del arroyo San José y del río Turbio

### Calidad de Aguas

Como se mencionó anteriormente, los cursos de agua presentes en la zona se encuentran expuestos a diversas fuentes de contaminación. En este sentido, aguas abajo del embalse el arroyo San José recibe el aporte de la descarga cloacal de la población de Río Turbio. Aguas abajo de esta confluencia se encuentra un depósito de chatarra.

A 5 km de dicha ciudad se encuentra la planta de procesamiento de carbón de YCRT y la Usina perteneciente a la misma empresa (INA, 1999). En este sector del río se han almacenado desechos de varios metros de altura. Según el informe del INA (1999) en esta zona han sido detectadas 3 descargas líquidas con gran concentración de sólidos procedentes del complejo minero: una conducción aérea, un canal aguas abajo de la confluencia y la descarga de la usina a través de un canal. Así, las fuentes de contaminación en este sector son fundamentalmente dos, el aporte continuo de sólidos a través de las descargas anteriormente mencionadas y el lavado de los depósitos de residuos ubicados sobre la margen del arroyo.

Finalmente, y no por eso de menor importancia, contribuye al deterioro de la calidad del agua del río Turbio, el basurero ubicado sobre el valle del mismo, aguas abajo de la confluencia del mismo con el arroyo San José.

Tanto el río Turbio antes de la confluencia con el arroyo San José (arroyo Primavera), como el arroyo San José, desde sus nacientes hasta la localidad de Río Turbio, tienen aguas claras, y presentan baja presencia de material en suspensión. En este sentido, según el estudio de sedimentación de las descargas de YCTR realizado por el INA (1999), la concentración de sedimentos fueron de 67 y 52 mg/l respectivamente.

A la altura de Río Turbio la concentración aumenta considerablemente siendo apreciable aún en Glencross, 70 km aguas debajo del área de estudio (Tabla 17).

**Tabla 17:** Concentración de sólidos suspendidos en el Río Turbio. Fuente: INA, 1999

Curso	Sección	Concentración sedimentos (mg/l)	
		Jun/98 *	dic/98
Arroyo San José	Aguas arriba descarga YCRT	<b>52</b>	
Arroyo San José	Aguas debajo de segunda descarga	574.5	13250
Arroyo San José	Aguas arriba confluencia con arroyo Primavera	254	15480
Río Turbio (Arroyo Primavera)	Previo a confluencia con Arroyo San José	<b>67</b>	
Río Turbio	100 m aguas abajo confluencia	401	1057
Río Turbio	Julia Dufour (1.5 km de la confluencia)	1070	2620
Río Turbio	28 de Noviembre (7 km de la confluencia)		1220
Río Turbio	Rospentek (22 km de la confluencia)		870
Río Turbio	Glencross (70 km de la confluencia)		470

\* La planta no operaba a pleno

En relación a la calidad química de las aguas, el estudio de CFI – Nicolli y Merino (1993) expresa que las aguas presentan como anión dominante el HCO<sub>3</sub> variando entre bicarbonatadas y fuertemente bicarbonatadas. Son no salinas ya que la concentración es siempre inferior a 1.000 mg/l, débilmente básicas y semiduras.

Para completar la caracterización, el autor realizó una serie de determinaciones fisicoquímicos en diversos puntos de la cuenca del río Turbio – río Gallegos, tanto en situación de deshielo (octubre 1992), como de estiaje (marzo de 1993) (Tabla 18). A partir de estos datos se observa que, salvo para el K, todos los metales pesados presentaron las mayores concentraciones durante la época de estiaje.

**Tabla 18:** Parámetros químicos de aguas superficiales de los ríos Turbio – Gallegos. Fuente: CFI – Nicolli y Merino (1993)

Parámetro	Unidad	Octubre 1992			Marzo 1993		
		Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
T °C	mg/l	1	11	7,1	2,9	15,4	7,14
PH	mg/l	6,3	7,9	7,02	6	8,7	7,69
D.Q.O.	mg/l	4,17	15,1	8,04	2,5	13,4	7,49
O.D	mg/l	6,5	8,5	7,54	7,5	10,7	9,42
Cond. Espec.	µmho/cm	10	780	218,05	52,9	1105,9	260,93
Res Seco 105	mg/l	51,8	248,6	95,78	56,4	1391	262,27
Res seco 180	mg/l	50,6	246,4	93,01	51,1	1248	136,95
Turbidez	mg/l	0,02	999	105,95	10	450	77,75
EH (NHE)	mg/l	386,9	406,4	392,63	436	674	488,47
SI O2	mg/l	5,24	8,82	6,84	8,28	16,7	13,31
NA	mg/l	4,43	58,1	12,41	3,34	342,8	56,4
K	mg/l	0,41	8,82	1,25	0,25	2,64	1,16
Mg	mg/l	0,53	9,67	1,89	0,77	5,42	2,76
Ca	mg/l	4,49	39,5	11,95	7,02	63,6	25,18
HCO3	mg/l	13,1	173,7	74,48	27,3	408,9	134,37
SO4	mg/l	0,29	76,4	4,35	0,1	446	65,21
Cl	mg/l	3,5	23,3	6,21	3,39	103,4	15,31
S	mg/l	0,09	6,05	0,49	0,05	8,07	1,04
NO3	µg/l	0,76	19	5,89	2,29	11,3	5,08
NO2	mg/l	1	78	8,26	1	209	22,8
S.T.D	mg/l	35,05	310,9	98,7	62,19	1363,49	319,83
Dureza	mg/l	13,39	138,45	37,48	24,11	161,99	74,22
CO2	mg/l	1	34,76	8,92	3,59	15,6	9,3
F	µg/l	6	107	36,95	3	4840	481,9

Por otro lado, en el marco del proyecto PASMA (2001) se tomaron muestras de agua y de sedimentos en diversos sitios, distribuidos en la cuenca del río Turbio (Tabla 19). Los valores obtenidos fueron contrastados por los autores con los estándares de calidad de agua establecidos en el código de minería. En este sentido, de todos los parámetros analizados, superaron los límites el Al, Cu, Mn, Pb, Zn y NO<sub>2</sub>.

**Tabla 19:** Parámetros excedidos de los estándares de calidad de agua considerados en el Código de Minería Ley 24.585 (mg/L). Fuente: PASMA, 2001.

Curso de Agua	Campaña	Al	Cu	Mn	Pb	Zn	NO2
A. Primavera (brazo oeste)	Aguas bajas (abril)	<0,01	<0,01	0,01	<0,001	<0,01	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	0,02	<0,01	<0,005	0,01	0,05	0,02
A. Primavera (brazo este)	Aguas bajas (abril)	0,01	<0,01	0,05	<0,001	0,01	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	0,05		0,06	<0,01	0,09	<0,1
Arroyo Primavera (3,5 km antes de confluencia con A. San José)	Aguas bajas (abril)	0,02		0,11	<0,001	<0,01	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	0,04		<0,005	<0,01	0,03	<0,1
Río turbio (Basurero)	Aguas bajas (abril)	0,07		0,13	<0,001	<0,01	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	2,94		0,03	0,39	<0,01	0,17
Arroyo San José (500 m antes de la confluencia con el A. Primavera)	Aguas bajas (abril)	2,6	0,01	0,8	<0,001	0,04	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	8,23	0,07	1,21	0,02	0,17	1,01
Arroyo Santa Flavia (4 km agua arriba Río Turbio)	Aguas bajas (abril)	0,08	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	1,84	0,02	0,17	<0,01	0,13	<0,1
Río turbio (15 km aguas debajo de 28 de Noviembre)	Aguas bajas (abril)	0,13	<0,01	<0,01	<0,001	0,03	<0,01
	Aguas altas (septiembre)	0,72		0,09	<0,01	0,04	<0,1
Tabla 1: Fuentes de Agua para Bebida Humana		0,2	1	--	0,05	5	1
Tabla 2: Para Protección de Vida Acuática en Agua Dulce Superficial		--	0,002	0,1	0,001	0,03	--
Tabla 5: Para Irrigación		5	0,2	--	0,2	2	--
Tabla 6: Para Bebida de Ganado		5	1	--	0,1	0,05	--

## 1.5.2 Calidad de Aguas Superficiales

### 1.5.2.1 Diseño de Muestreo

Para la determinación de la calidad del agua superficial se llevó a cabo la toma de 24 muestras distribuidas a lo largo de los cursos de agua presentes en el área de estudio. Las mismas fueron extraídas durante una única campaña durante los días 2 y 16 de abril del 2008, coincidiendo con el inicio del otoño. Si bien en la zona no existe una marcada estacionalidad hídrica, las mayores precipitaciones se registran en esta estación. Por otro lado, los mayores caudales se registran durante la primavera, como consecuencia de los aportes níveos, lo que constituye la principal fuente de recarga en el sistema hidrológico. En este sentido, los resultados obtenidos corresponden a un período de bajo caudal en donde se registra una recarga de origen pluvial.

Los parámetros que fueron medidos así como los métodos analíticos mediante los cuales estos han sido determinados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Especificaciones del muestreo de agua superficial.

Parámetros a determinar	Límite de Cuantificación (mg/l)	Metodología de análisis	Metodología de base a implementar en muestreos y preservación de muestras
<b>PCBs</b>	< 0,000001	EPA 3510 C-8082	<p>ISO 5667-2 Directivas generales sobre técnicas de muestreo.</p> <p>ISO 5667-3 Guía para la preservación y manipuleo de las muestras.</p> <p>ISO 5667-11 Directivas para el muestreo de aguas subterráneas.</p> <p>ISO 5667-14 Directivas sobre el aseguramiento de la calidad del muestreo y manipulación de agua.</p> <p>ISO 5667-18 Guía para el muestreo de aguas subterráneas en sitios contaminados.</p>
<b>Metales Pesados</b>			
Aluminio total	< 0,2	EPA 3005 A-7020	
Antimonio	< 0,01	EPA 7041	
Arsénico total	< 0,01	SM 3500 As B	
Boro total	< 0,2	SM 4500 B B	
Cadmio total	< 0,0002	EPA 3020 A-7131	
Cinc total	< 0,02	EPA 3005 A-7950	
Cobre total	< 0,002	EPA 3020 A-7211	
Cromo total	< 0,002	EPA 3020 A-7191	
Manganeso total	< 0,05	EPA 3005 A-7460	
Mercurio total	< 0,0005	EPA 7470-A	
Níquel total	< 0,01	EPA 3020 A-7521	
Plata total	< 0,0005	EPA 7760	
Plomo total	< 0,001	EPA 3020 A-7421	
Selenio total	< 0,01	EPA 7740	
Vanadio total	< 0,05	EPA 3020 A-7911	
<b>Amonio total</b>	< 0,05	SM 4500-NH3 B C/F	
<b>Cianuro total</b>	< 0,005	SM 4500- CN C/E	
<b>Nitrito</b>	< 0,02	SM 4500-NO2 -B	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	< 5	SM 5210 B	
<b>DQO</b>	< 15	SM 5220 D	
<b>Oxígeno Disuelto</b>	< 5	SM 4500 – O G	
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	< 10	SM 2540-D	

Además de los parámetros enumerados anteriormente se midieron en el campo el pH y la temperatura del agua al momento de ser tomadas las muestras. Más aún, en 5 de las 24 muestras se midió la concentración de los sólidos suspendidos totales.

Para la clasificación de la calidad de las aguas en función de su uso se tomaron como referencia los niveles guías de calidad establecidos por el Decreto Nacional 831/93, los niveles establecidos por la Disposición de la Provincia de Santa Cruz 04/96, los límites recomendados por la EPA para la protección de la vida acuática, tanto para exposición aguda como crónica y los límites para el consumo humano de agua establecidos por la OMS.

En relación a la ubicación espacial de cada uno de estos puntos, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos. Los mismos fueron determinados considerando la ubicación de las localidades incididas, los terrenos considerados como posibles alternativas y los posibles puntos de aporte de contaminación, entre otros (Anexo I – Mapa I-16).

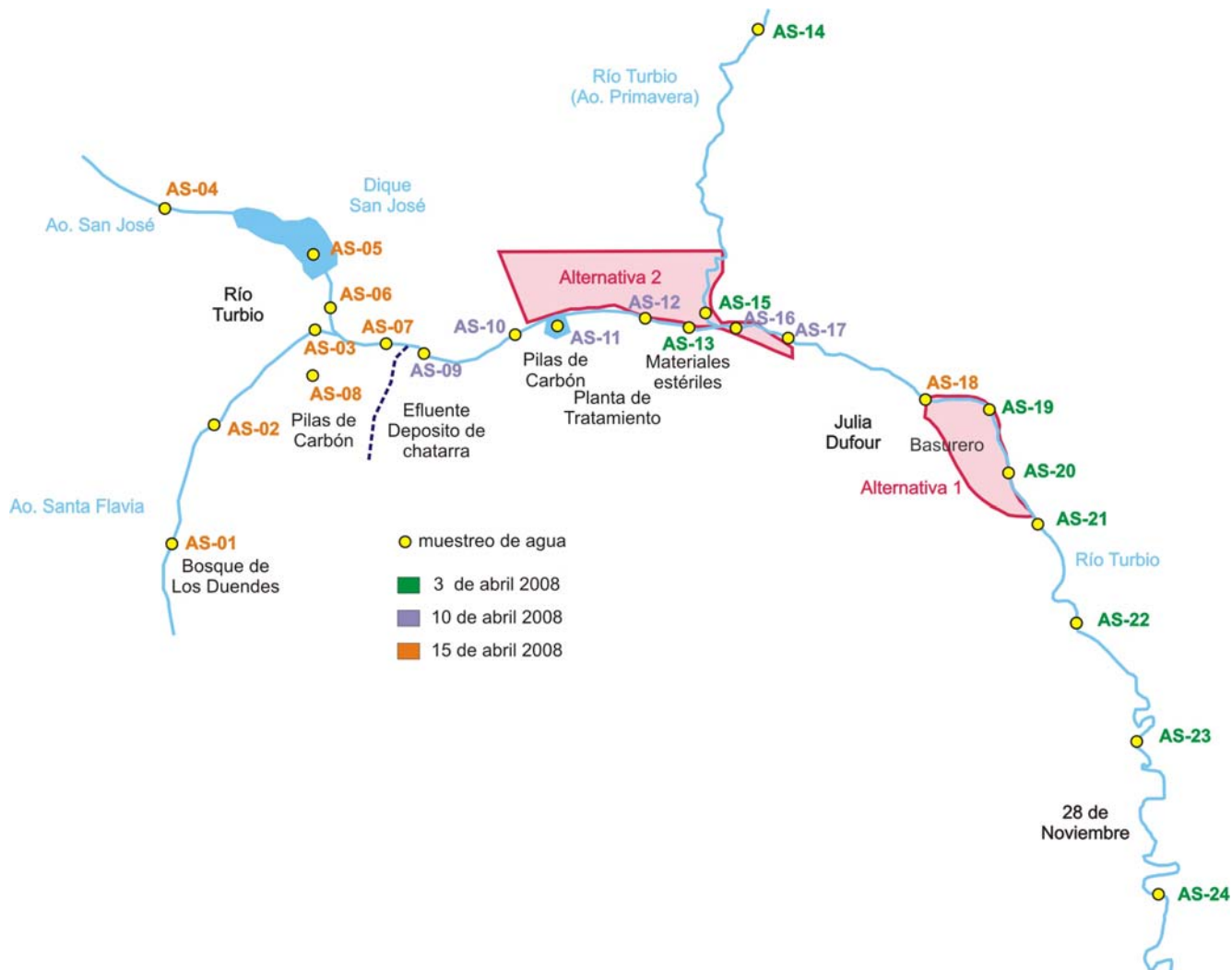
**Tabla 21.** Especificaciones de los sitios de muestreo de calidad de agua.

<b>Arroyo Santa Flavia</b>	
<b>AS-01.</b>	Aguas arriba de Río Turbio, en el Bosque de los Duendes.
<b>AS-02.</b>	Entrada del Bosque de Duendes, antes de ingresar al ejido urbano de Río Turbio.
<b>AS-03.</b>	Agua abajo de Río Turbio y aguas arriba de la confluencia con el Arroyo San José.
<b>Arroyo San José</b>	
<b>AS-04.</b>	Aguas arriba del Dique San José
<b>AS-05.</b>	Dique San José
<b>AS-06.</b>	Aguas abajo del Dique San José, agua arriba confluencia con el Arroyo Santa Flavia.
<b>AS-07.</b>	Aguas abajo de la confluencia con el Arroyo Santa Flavia
<b>AS-08.</b>	Agua acumula sobre pila remanente de operaciones pasadas.
<b>AS-09.</b>	Aguas abajo de efluente del depósito de chatarra de YCRT.
<b>AS-10.</b>	Agua arriba terreno Alternativa 2
<b>AS-11.</b>	Humedal ubicado entre la ruta y el Arroyo, sitio de alimentación de aves.
<b>AS-12.</b>	Aguas abajo pilas de carbón y acopio de material estéril
<b>AS-13.</b>	Aguas arriba confluencia con el río Turbio
<b>Río Turbio aguas arriba de la confluencia (Arroyo Primavera)</b>	
<b>AS-14.</b>	Puente Ruta Nacional N° 40
<b>AS-15.</b>	Aguas arriba confluencia con Arroyo San José, en el predio de la Radio AM 620.
<b>Río Turbio aguas debajo de la confluencia</b>	
<b>AS-16.</b>	Agua abajo de la confluencia de los Arroyos San José.
<b>AS-17.</b>	Aguas abajo de Alternativa 2 y aguas arriba Puente de la Ruta Nacional N° 40
<b>AS-18.</b>	Aguas arriba Alternativa 1 (Puente de la Ruta Nacional N° 40)
<b>AS-19.</b>	Aguas arriba del Basurero
<b>AS-20.</b>	Aguas abajo del Basurero
<b>AS-21.</b>	Aguas abajo Alternativa 1
<b>AS-22.</b>	Aguas arriba 28 de Noviembre
<b>AS-23.</b>	28 de Noviembre
<b>AS-24.</b>	Aguas abajo 28 de Noviembre

### 1.5.2.2 Resultados

Si bien las tareas de campo abarcaron un período de tiempo de 15 días, las muestras de agua superficial fueron tomadas a lo largo de tres días no consecutivos (Figura 120).





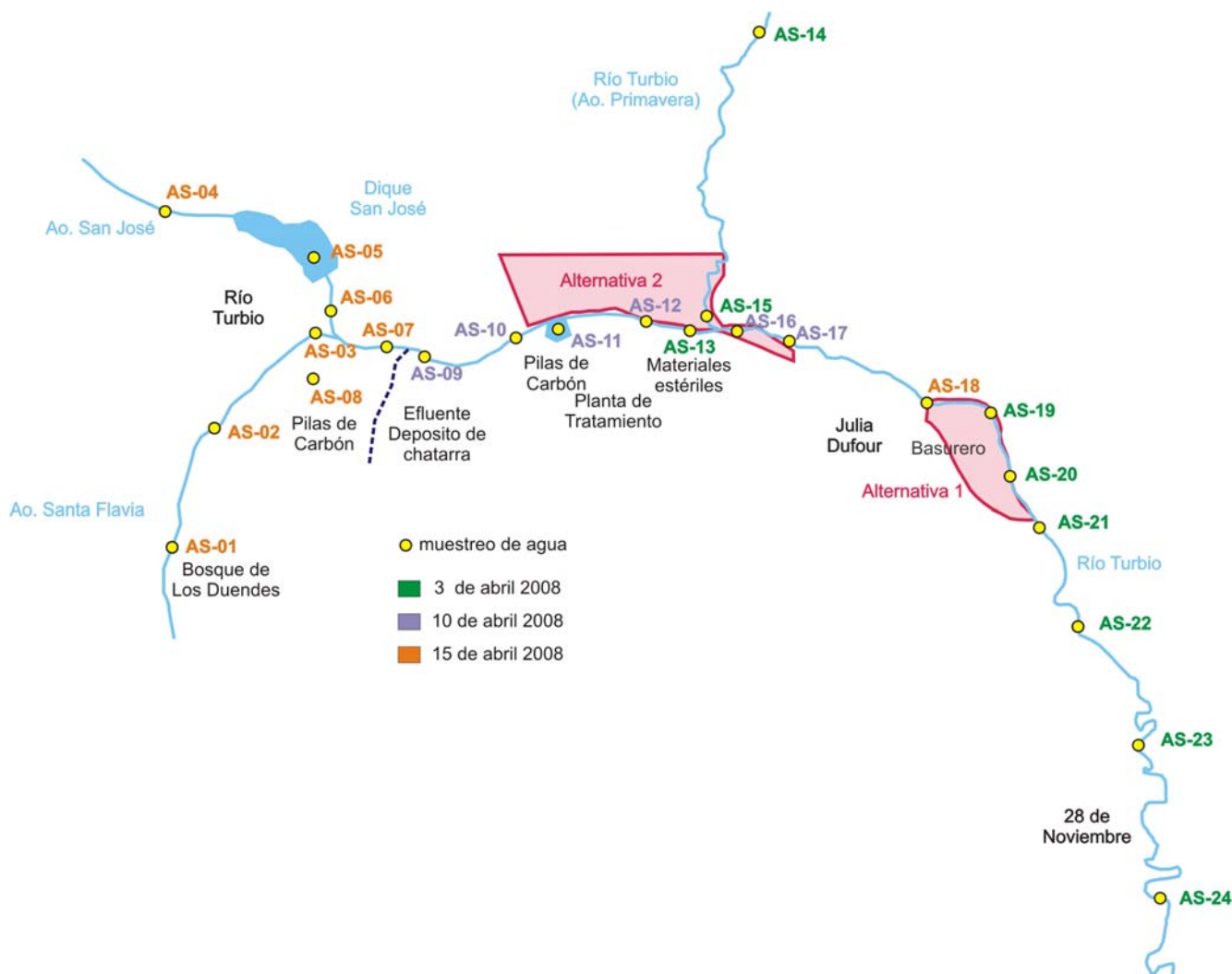
**Figura 120.** Momento de toma de muestras aguas superficiales

Resulta importante mencionar que entre el muestreo del 3 de abril y el del 10 de abril se produjo, en el área de estudio, la primer nevada del año 2008. En este sentido, las mayores temperaturas registradas en los cursos de agua ocurrieron durante el primer día de muestreo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Tabla 22.** Valores medios, máximos y mínimos de temperatura (°C) registrados durante los muestreos

Fecha	Media	Máxima	Mínima
3 de Abril 2008	10,53	12,6	4,2
10 de Abril 2008	4,47	7,6	2,5
15 de Abril 2008	4,08	7	1,1

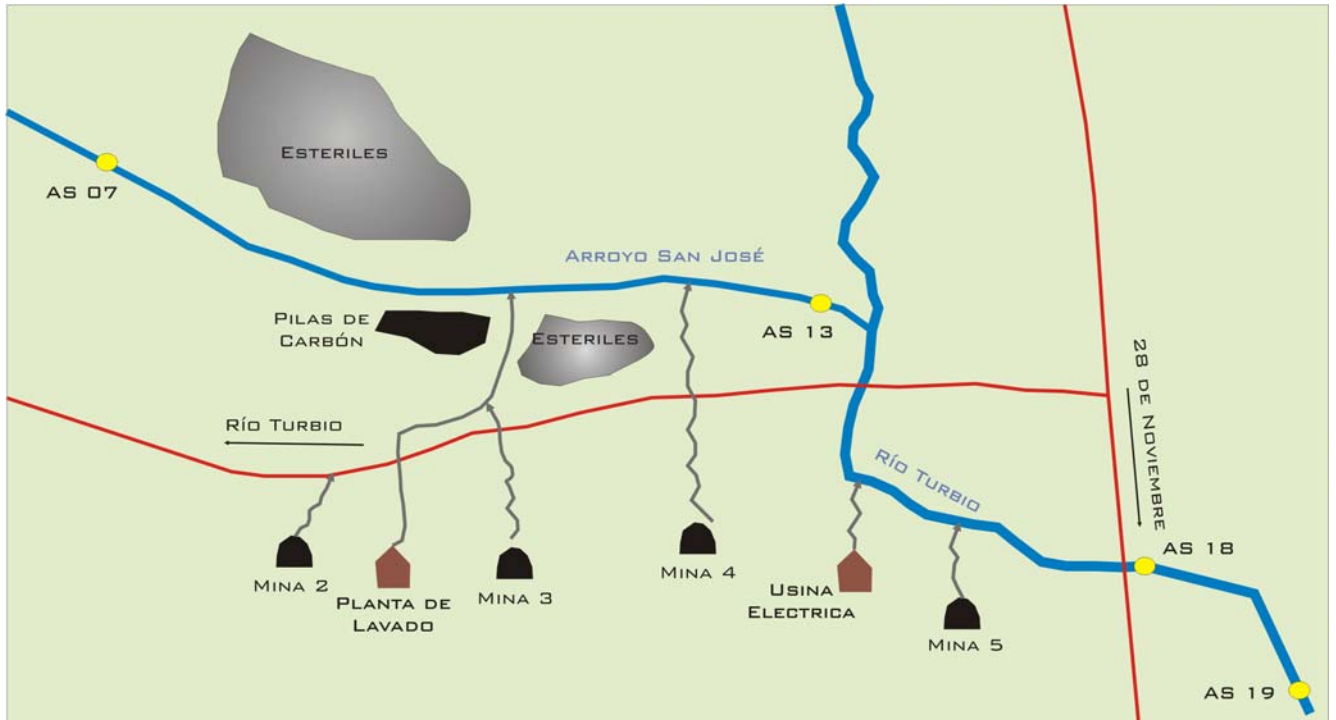
La concentración de sólidos suspendidos totales fue determinada sobre 3 muestras tomadas en día 3 de abril (AS 13, AS 19 y AS 24) y sobre 2 muestras tomadas el día 15 del mismo mes (AS 07 y AS 18) (Figura 121).



**Figura 121.** Sólidos suspendidos totales (mg/l) medidos en 5 muestras de agua superficial.

Como puede observarse en la figura anterior, la mayor concentración de sólidos suspendidos se registró en el punto AS 18, el cual se encuentra ubicado aguas abajo de las pilas de estériles, de las pilas de carbón, de la planta de tratamiento y de la Usina. El mismo día, pero en el punto AS 07, ubicado aguas arriba del mencionado sector, se registraron los niveles más bajos de sólidos en suspensión ( $< 10$  mg/l).

En las muestras tomadas el día 15 de abril la mayor concentración de sólidos suspendidos ocurrió en el punto AS 19, el cual es el punto ubicado inmediatamente aguas abajo del AS 18. Si bien en el punto AS 13 (sobre el arroyo San José) se registraron valores significativos de sólidos en suspensión, los mismos fueron menores que los registrados sobre el río Turbio (punto AS 19). Este hecho llama la atención ya que según lo esperado luego de la confluencia del arroyo San José con el río, la concentración debería disminuir por efecto de la dilución. Este aumento en la concentración puede explicarse como el resultado del aporte al río del efluente proveniente de la Usina Termoeléctrica de YCRT (Figura 122).



**Figura 122.** Descargar y Sitios de muestreo sólidos suspendidos. Fuente: elaboración propia en base al INA (1999) y Proyecto PASMA, 2001.

Según un informe de INA (1999), en el año 1998 esta descarga presentó una concentración de sólidos en suspensión de 1670 mg/l.

De este modo, si bien el gran aumento de sólidos suspendidos registrado en el punto AS 18 puede deberse a una diferencia producto del día en el que fue tomada la muestra, el patrón general observado es el mismo, es decir, aguas abajo de la confluencia la concentración de sólidos aumenta.

En este sentido, a partir del análisis conjunto de los resultados se puede concluir que aguas arriba de la zona afectada por las diferentes actividades antrópicas realizadas en la zona, el arroyo San José presenta una baja concentración de sólidos suspendidos (AS 07, <10 mg/l). Luego de atravesar este sector en donde se registra la presencia de dos descargas que aportan material en suspensión al arroyo San José, la concentración aumenta considerablemente (AS 13, 670 mg/l). Luego de la confluencia con el río Turbio la concentración en lugar de disminuir aumenta posiblemente como resultado del aporte de la tercera descarga (AS 18, 18800 mg/l y AS 19, 1920 mg/l). Finalmente la concentración de sólidos en suspensión comienza a disminuir con la distancia (AS 24, 410 mg/l).

En relación a los valores de pH obtenidos, las aguas de la zona pueden ser clasificadas como débilmente básicas, siendo el valor promedio de 7,9, con un máximo registrado de 8,9 en el punto AS05 y un mínimo de 6,8 en el punto AS23.

El pH del curso de agua, junto con otras condiciones tales como el potencial redox, afectan la solubilidad de los metales pesados. En líneas generales, la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. Así el pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. En este sentido, las condiciones que presentan los cursos de agua en el área de estudio, favorecen la precipitación de los metales pesados presentes en ellos.

De todos los metales pesados analizados el antimonio, el mercurio, la plata y el selenio presentaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación de la técnica utilizada (0,01, 0,0005, 0,0005 y 0,01 mg/l, respectivamente).

Dicho límite para el antimonio es menor que cualquiera de los valores guías considerados. En el caso del mercurio y la plata, el único valor guía menor que el mencionado límite corresponde al establecido por el Decreto N°831/93 para la protección de la vida acuática en agua dulce (0,0001 mg/l). En cuanto al selenio, el límite de cuantificación de la técnica utilizada supera los límites establecidos por el mencionado decreto para la protección de la vida acuática (0,001 mg/l) y para la irrigación (0,002 mg/l).

En cuanto al arsénico, el cadmio, el níquel y el vanadio, los valores registrados fueron inferiores que los niveles guías considerados para el presente análisis, con excepción de los puntos AS18 y AS20.

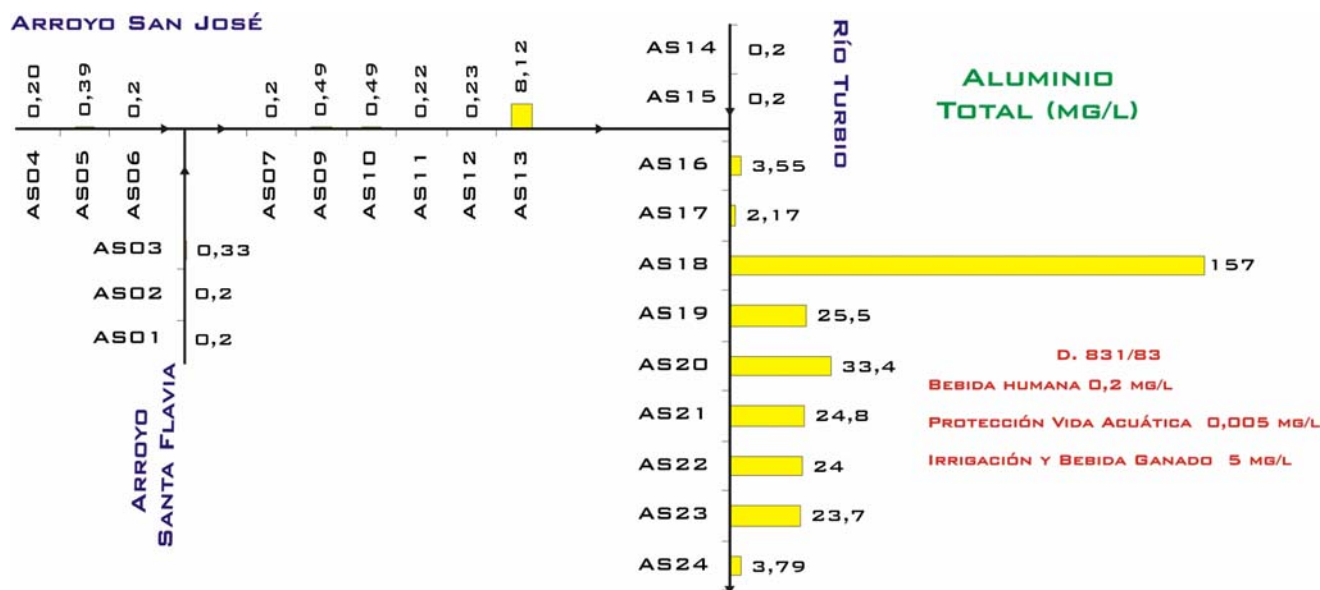
En el primer punto, las concentraciones de arsénico (0,11 mg/l), níquel (0,045 mg/l) y vanadio (0,037 mg/l) fueron levemente superiores a los niveles guía contrastados. Los dos primeros superaron los límites para el consumo humano y para la protección de la vida acuática (0,05 mg/l para ambos) según el Decreto 831/93, siendo, por otro lado, menores que los valores estipulados por la EPA (0.15 y 0.052 mg/l, respectivamente). En relación al vanadio en el punto AS18, el mismo fue superior a todos los niveles guías establecidos (0,1 mg/l).

En el punto AS20, el cadmio y el níquel fueron los metales que superaron los niveles guías, con una concentración de 0,023 mg/l para el níquel y de 0,0003 mg/l para el cadmio. Este último supera solamente el límite para la protección de la vida acuática establecido en el Decreto 831/93 y por la EPA (0,0002 mg/l y 0,00025 mg/l, respectivamente).

El resto de los metales pesados analizados (aluminio, zinc, cobre, cromo, manganeso y plomo) presentaron concentraciones de mayor relevancia. A excepción del manganeso, todos estos elementos exhibieron un patrón espacial similar. En este sentido, las muestras tomados en el arroyo Santa Flavia, en el arroyo San José antes de la zona afectada por la actividad de YCRT y sobre el río Turbio antes de la confluencia con el mencionado arroyo, presentaron bajas concentraciones de los metales antes mencionados. Al atravesar el sector donde se encuentran los estériles, las concentraciones de los metales en el arroyo San José aumentaron levemente. Como se mencionó anteriormente en este sector además de recibir el lavado de los estériles, existen (según el informe del INA (1999)) dos descargas provenientes de YCRT.

Luego de confluir con el río Turbio, las concentraciones vuelven a disminuir hasta el punto AS18. Según información publicada por el Proyecto PASMA (2001), existe un drenaje proveniente de la Mina 5 que vierte sus aguas a unos metros de distancia (Figura 122). En base a las campañas de campo realizadas en el marco del mencionado proyecto, en este drenaje de mina se pudo detectar la presencia de metales pesados (aluminio, manganeso y zinc). Luego de este punto (AS 18) las concentraciones son elevadas pero van disminuyendo paulatinamente con la distancia.

En la Figura 123 se puede observar la concentración de aluminio a lo largo de los cursos de agua presentes en el área de estudio. Como se mencionó anteriormente las zonas que no se encuentran afectadas por la actividad minera, presentaron niveles bajos de contaminación, siendo muchas veces la concentración del metal menor al límite de cuantificación de la técnica utilizada (0,02mg/l).



**Figura 123.** Concentración de Aluminio Total a lo largo de los cursos de agua muestreados

En el punto AS13 se registró un gran aumento de la concentración de este metal. Luego de la confluencia con el río Turbio, los niveles disminuyeron, lo que puede ser atribuido al fenómeno de dilución. Sin embargo, en el punto AS18 la concentración de aluminio aumentó drásticamente, alcanzando valores que excedieron en gran medida todos los niveles guías considerados. Esta situación genera que esta agua no sea apta para ninguna de los usos considerados por la legislación.

Dentro de las fuentes antropogénicas más importante de aluminio se encuentran la combustión del carbón, la producción de aluminio y otras actividades industriales. Que Hee et al. (1982) encontraron que el aluminio era uno de los elementos más abundantes en las emisiones de las plantas de energía (ATSDR, 2006).

Resulta importante mencionar que el aluminio es un metal pesado que se encuentra contenido dentro del carbón en gran proporción. De hecho, a partir del análisis del carbón procedente de la mina se pudo observar que, de todos los componentes analizados, fue el aluminio el que se encontró en mayor cantidad, representando el 1,2% de la muestra (12 gr/kg de carbón).

En cuanto al zinc, el cobre, el cromo y el plomo, los mismos presentaron un patrón similar al descrito para el aluminio. Sin embargo, los valores que exhibieron estos parámetros fueron significativamente inferiores.

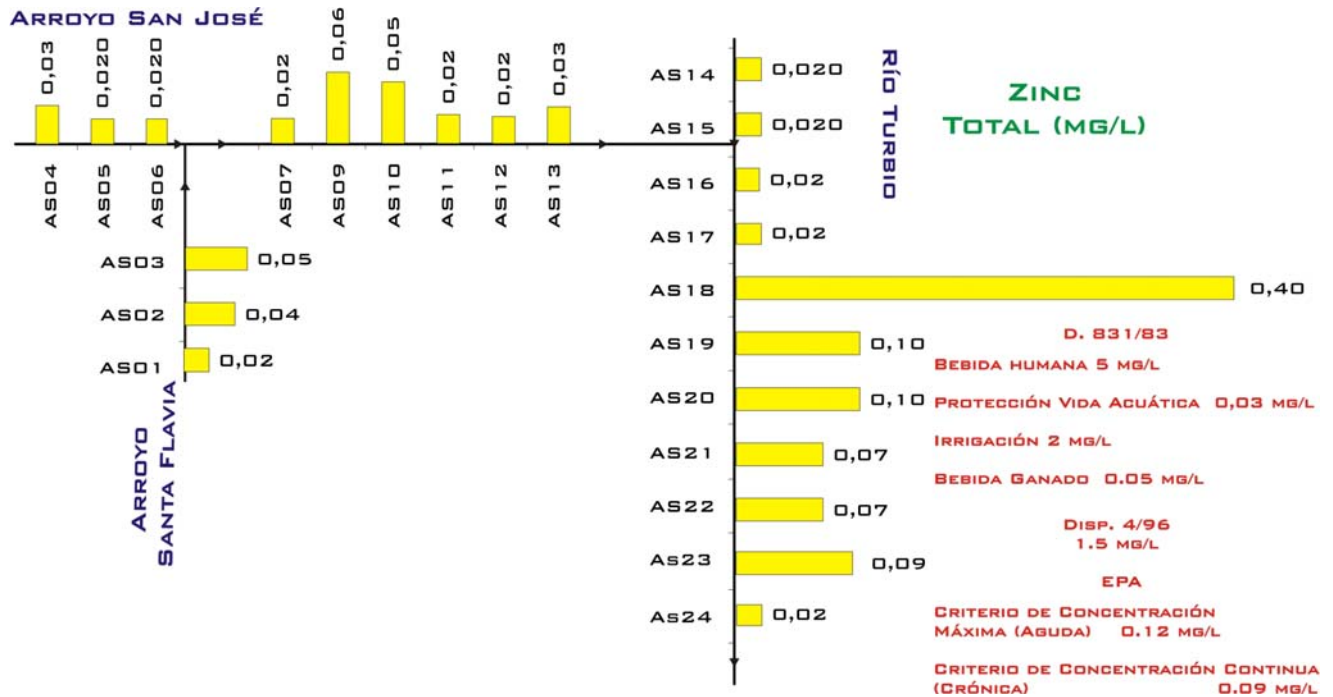


Figura 124. Concentración de Zinc Total a lo largo de los cursos de agua muestreados

Para el caso del zinc (Figura 124), en todos los puntos los valores registrados fueron inferiores a los niveles guías para consumo humano y para irrigación establecidos por el Decreto 831/93. En relación a la protección de la vida acuática, con excepción del punto AS18, los valores registrados fueron menores o muy cercanos al valor establecido por la EPA para tal fin.

En cuanto al cobre (Figura 125) en prácticamente todos los puntos fue superado el nivel para la protección de la vida acuática. Sin embargo en los puntos ubicados aguas arriba del punto AS18, y de igual modo que lo que ocurría para el zinc, los valores registrados fueron inferiores o cercanos a los establecidos por la EPA. Nuevamente en el punto AS 18 se detectaron los mayores niveles de este metal, los cuales disminuyeron rápidamente con las distancia.

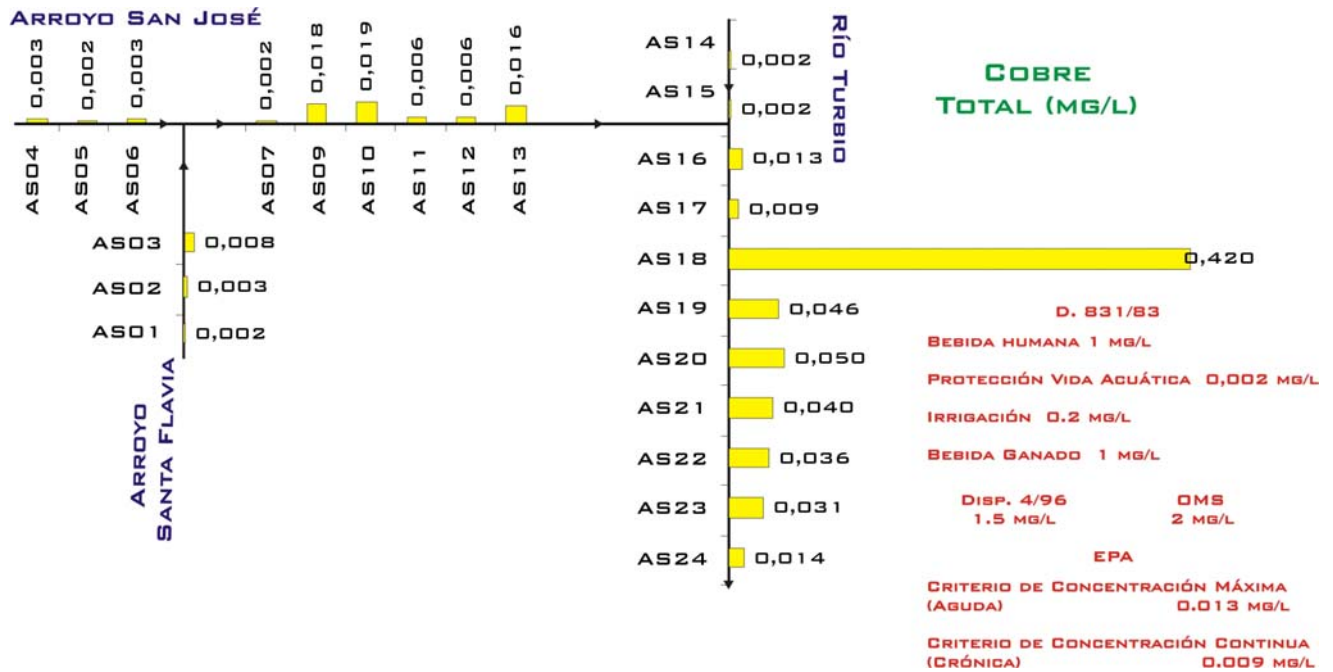


Figura 125. Concentración de Cobre Total a lo largo de los cursos de agua muestreados

En cuanto al cromo (Figura 126) el único nivel guía superado corresponde a aquel destinado a la protección de la vida acuática, presentando una concentración que puede llegar a ser considerada importante en el punto AS18, principalmente, pero también en el AS19 y AS20.

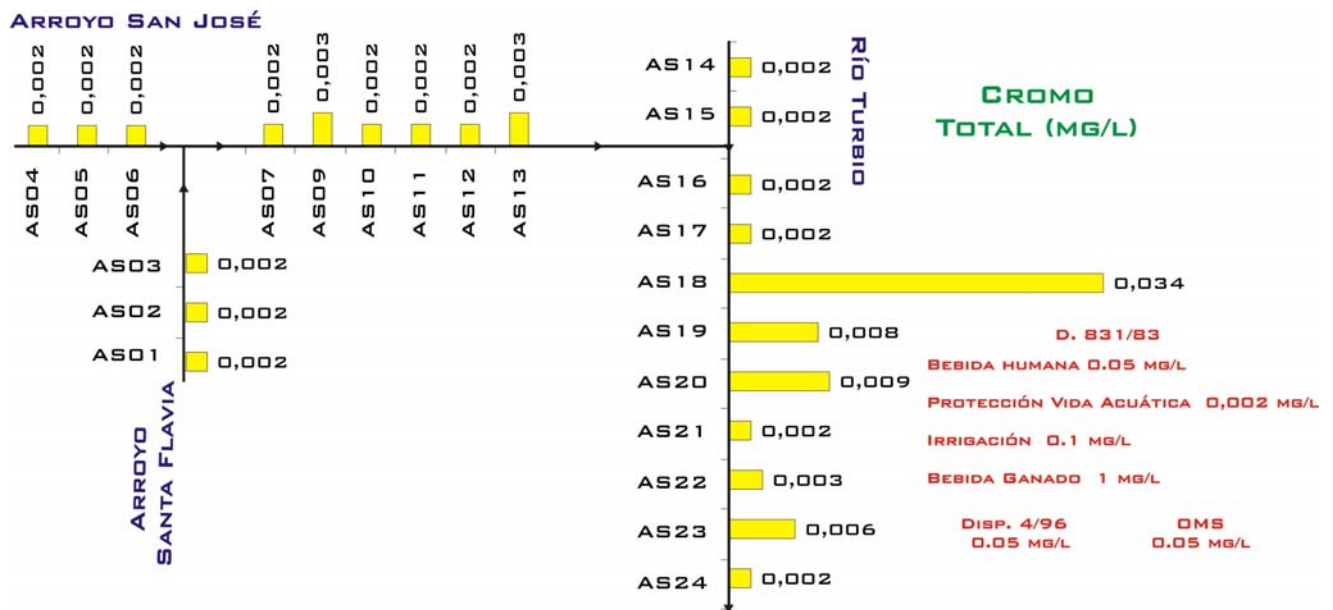


Figura 126. Concentración de Cromo Total a lo largo de los cursos de agua muestreados

Finalmente, en la gran mayoría de los puntos muestreados la concentración de plomo (Figura 127) superó el nivel para la protección de la vida acuática establecido por el Decreto 831/93. Sin embargo, con excepción del punto AS18, los valores registrados fueron menores que los establecidos por la EPA. En este punto (18) se detectaron los mayores niveles, superando los valores para la protección de la vida acuática establecidos por el decreto y por la EPA, así como también los niveles establecidos para el consumo humano.

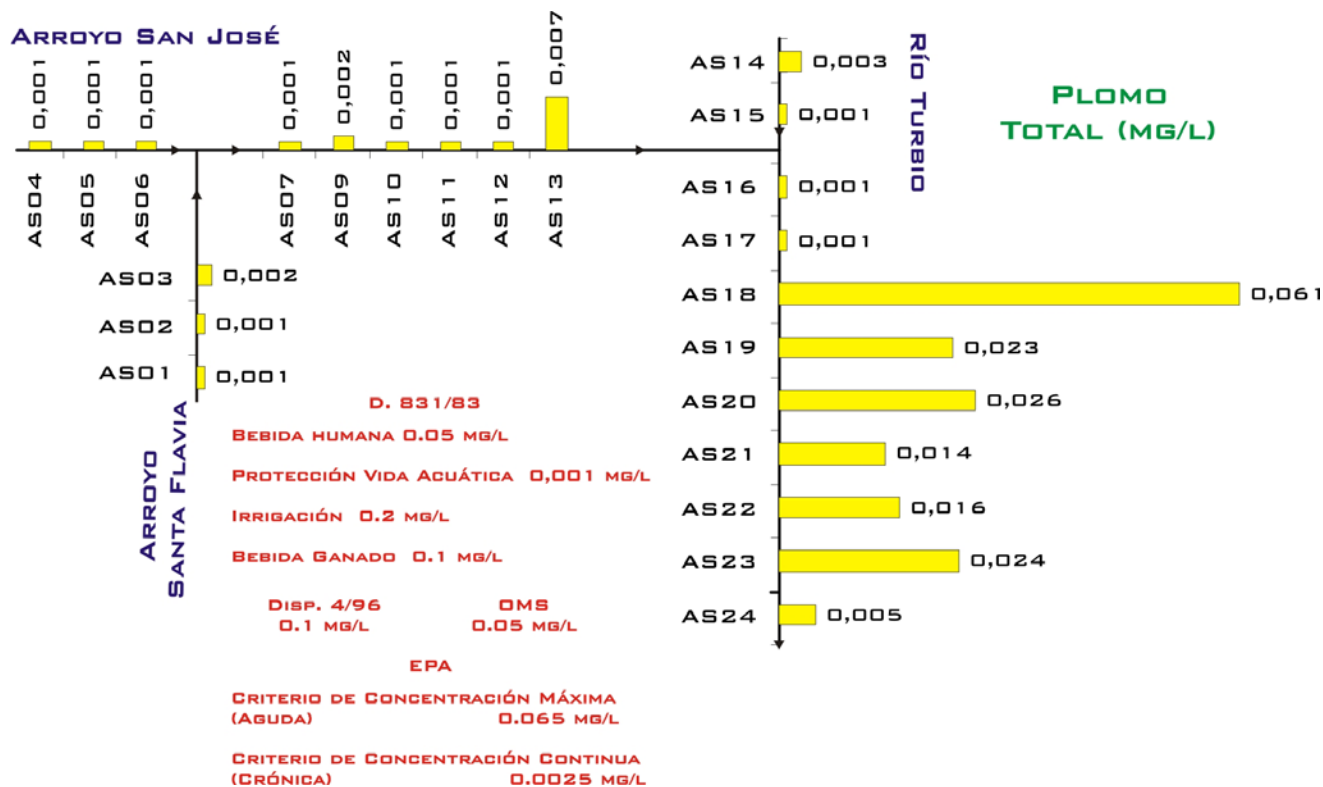


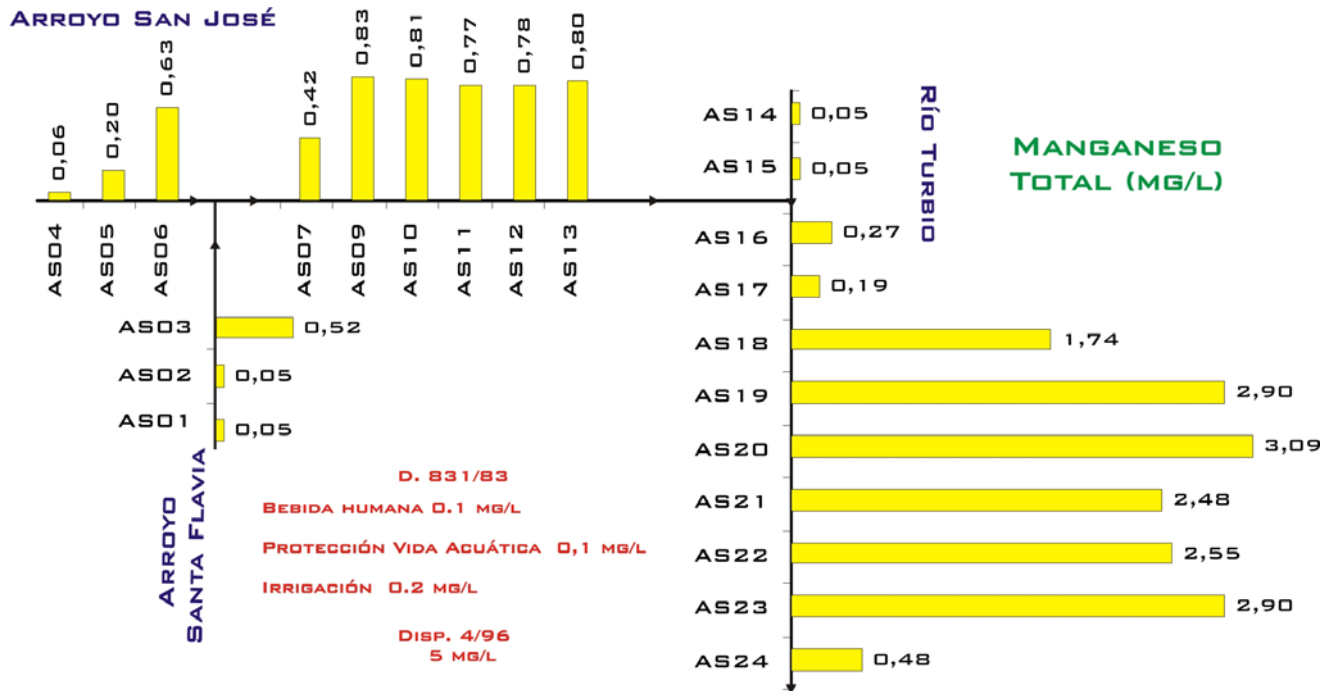
Figura 127. Concentración de Plomo Total a lo largo de los cursos de agua muestreados

Hasta aquí, los metales pesados analizados presentaron un comportamiento similar, registrándose sus mayores concentraciones luego del aporte de la descarga de la Usina de YCRT y del efluente proveniente de la Mina 5. En este sentido, la presencia de estos metales en las muestras de agua no parece tener relación con la presencia de estos compuestos en el suelo. De hecho, tanto el cobre como el zinc y el plomo, fueron detectados sólo en las muestras de suelo tomadas en la zona del basurero. Si bien en las muestras de agua tomadas aguas abajo de este punto se detectó la presencia de estos metales, las mayores concentraciones se registraron aguas arriba del basurero. Esta situación permite suponer que la presencia de los metales en el curso de agua se debe al aporte de las descargas y no al lavado de los suelos.

En cuanto al cromo, este metal estuvo presente en todas las muestras de suelo, pero en baja concentración. En este sentido, parte del cromo detectado en el agua, sobre todo en los tramos de los cursos de agua no afectados por la actividad minera, puede provenir del suelo.

Por último, el manganeso (Figura 128) presentó una situación algo diferente al resto de los metales analizados. En este sentido, ya en los tramos considerados no afectados por la actividad minera, se registraron valores superiores a los límites establecidos.





**Figura 128.** Concentración de Manganeseo Total a lo largo de los cursos de agua muestreados

Sin embargo, a partir del punto AS18 la concentración aumentó considerablemente. Resulta importante mencionar que, a diferencia de lo ocurrido con los otros parámetros, en los puntos aguas abajo los valores fueron superiores.

El manganeso es un compuesto que se encuentra presente naturalmente en el agua superficial, en el agua subterránea y en suelos. De hecho, los suelos son una de las principales fuentes naturales de aporte de manganeso a los cuerpos de agua incorporando este metal como resultado de la erosión los mismos. Así, la alta frecuencia con la que este metal es detectado el manganeso encuentra su explicación en el hecho de que el mismo se encuentra presente en la gran mayoría de los suelos y rocas (WHO, 2004).

Puntualmente, para el área de estudio, ha sido reportado un tipo de suelo rico en manganeso. En este sentido, en las zonas con un drenaje deficiente y que tienen en profundidad una irregular variación de materia orgánica, como es el caso de las vegas o mallines cordilleranos, se destaca la presencia de un suelo que corresponde al suborden Fluvent (orden Entisol), pudiendo ser del grangrupo Torrifuvent con carbonato de calcio a lo largo de todo el perfil y abundantes concreciones de hierro y manganeso en los niveles profundos. Cuando los referidos mallines se hallan permanentemente saturados con agua, los suelos que se desarrollan son los pertenecientes al suborden Acuent (orden Entisol). Como en los casos anteriores, estos suelos se desarrollan sobre acumulaciones aluviales moderadamente provistas de materia orgánica y abundante carbonato de calcio, pero en este caso es más marcado el rasgo de hidromorfismo, haciéndose evidente en concreciones de hierro y manganeso (PASMA, 2001).

Además de ocurrir naturalmente en el ambiente, el manganeso puede ser introducido por actividades humanas. En este sentido, los niveles de manganeso en agua dulce típicamente varían entre 0,001 y 0,2 mg/l, pudiéndose registrar en algunos casos niveles entre 0,4 y 0,8 mg/l. Al respecto, en el marco del Programa de Revisión Geológica de Evaluación de Calidad de Agua Nacional de los Estados Unidos se ha reunido gran cantidad de información sobre este metal, permitiendo establecer una relación entre concentraciones superiores a 0,8 mg/l (en aguas aeróbicas) y la existencia de una contaminación industrial (WHO, 2004).

Según la ATSDR (2000), el manganeso puede entrar al agua y al suelo a través de la disposición de residuos, a partir de los desechos generados por industrias de fabricación de aceros o por deposición desde el aire. En este sentido, el manganeso puede ser liberado al aire por la industria o al quemar combustibles fosilizados.

Algunos compuestos de manganeso se usan en la producción de baterías, suplementos dietéticos, y como ingredientes en ciertas cerámicas, plaguicidas y abonos. De hecho, el maneb y mancozeb, dos plaguicidas que contienen este metal, pueden también contribuir a la cantidad de manganeso en el ambiente cuando se aplican a cosechas o se liberan al ambiente desde plantas de almacenaje.

En relación a los metales pesados, resulta importante mencionar que los mismos tienden a perdurar en el medio ambiente por mucho tiempo, por lo que representan una amenaza más seria que los compuestos orgánicos, los que pueden ser menos persistentes. Más aún, aunque la concentración de un metal pesado en el agua puede ser muy pequeña, el mayor problema que representan los mismos para el medio ambiente es la posibilidad de que sufran una bioconcentración.

Además del aporte de metales pesados al medio, actividades como las que se prevén llevar a cabo en el marco del proyecto se asocian frecuentemente a la modificación de los niveles de DBO, DQO y oxígeno disuelto.

En este sentido, en la Figura 129 se presentan los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO registrados para el área de estudio.

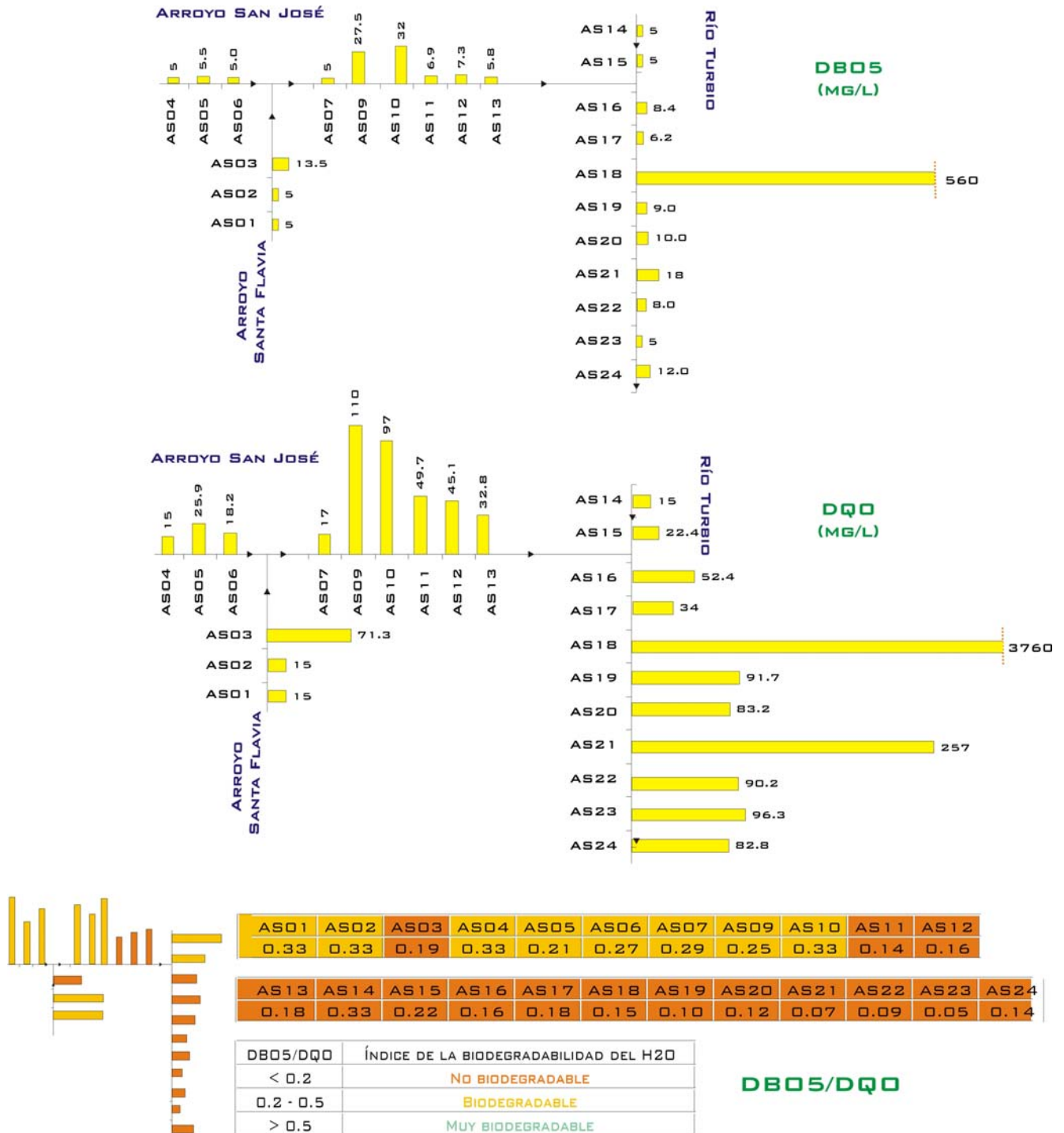


Figura 129. Valores de DBO5 y DQO a lo largo de los cursos de agua muestreados

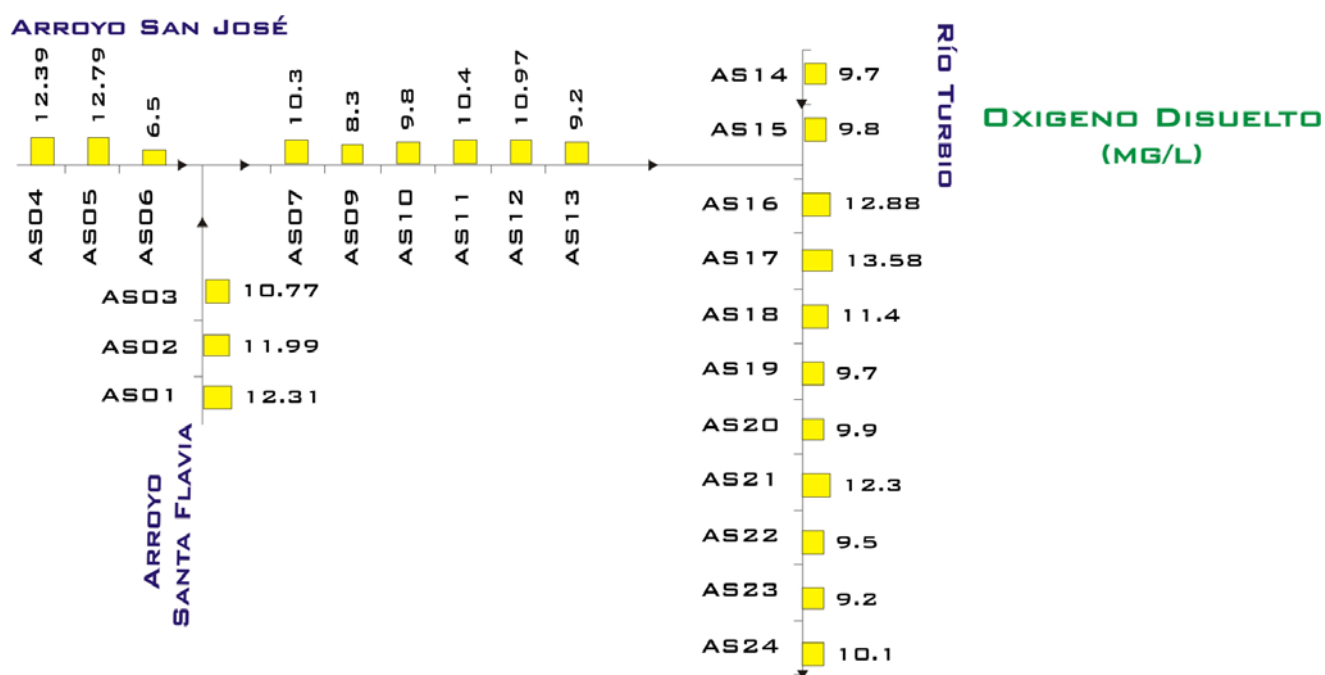
Como puede observarse, sobre el arroyo San Flavia y sobre el arroyo San José, los mayores niveles se registraron en los puntos AS03 y AS09, respectivamente. Esta situación puede deberse al aporte de efluentes cloacales provenientes de la localidad de río Turbio, los cuales son de gran importancia en la zona de la Vega San José, aguas abajo del dique homónimo.

Estos valores disminuyen gradualmente hasta que en el Punto AS18 se registra un aumento sumamente importante de los mismos. Este hecho puede explicarse nuevamente por la existencia de la descarga ubicada aguas arriba del mencionado punto de muestreo.

Resulta importante mencionar que la relación entre los valores de DBO5 y DQO puede ser utilizada como un indicador de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En este sentido una relación DBO5/DQO de 0,5 denota un grado muy satisfactorio de biodegradabilidad. En cambio, una relación inferior a 0,5 permite sospechar la presencia de sustancias tóxicas que retardan o inhiben la biodegradabilidad (como metales pesados, cianuros, cloro, etc.). Puntualmente se considera que las aguas con una relación menor de 0,2 son el resultado de un vertido de tipo inorgánico.

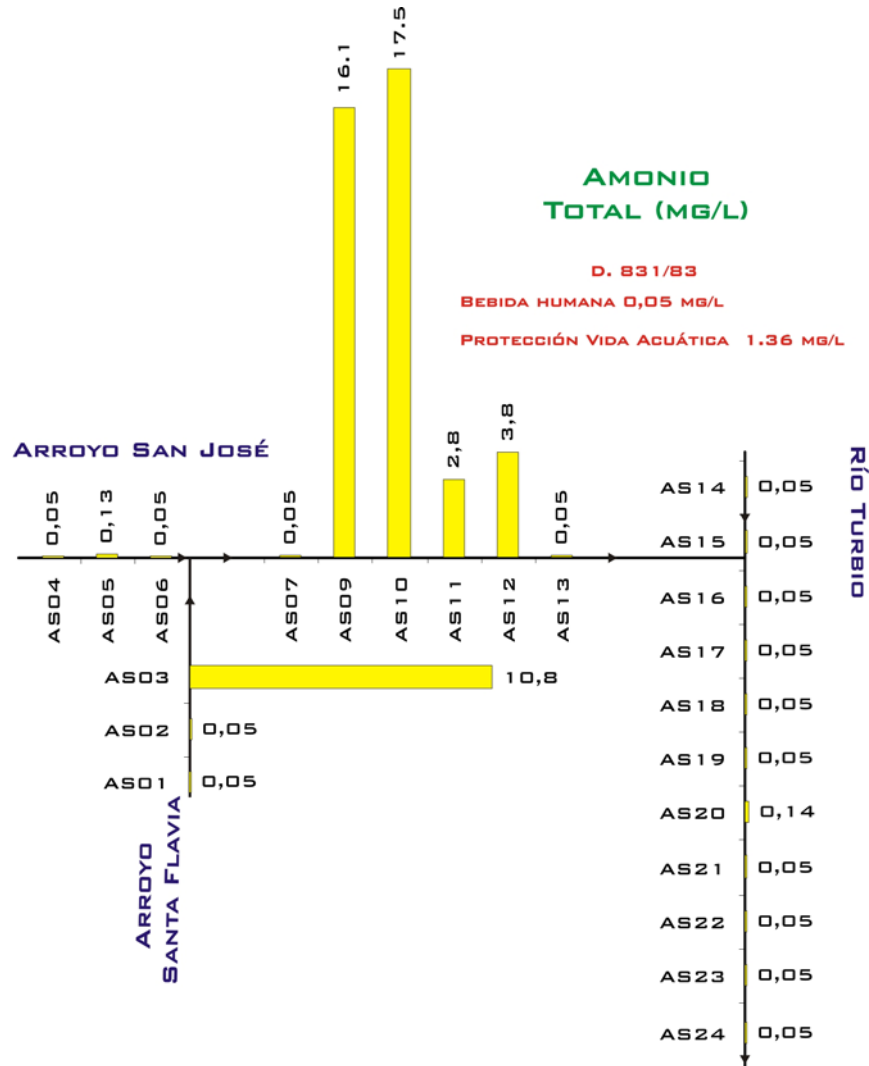
De este modo, y como se observa en la Figura 129, a medida que aumentan los niveles de metales pesados y que disminuye la influencia de los efluentes cloacales, la relación DBO5/DQO disminuye.

En cuanto a los niveles de oxígeno disuelto (Figura 130), los mismo se encontraron dentro de los límites normales, presentando la menor concentración el punto AS06 (6,5 mg/l). Sin embargo este valor es superior al nivel límite considerado necesario para la supervivencia de la fauna acuática según la EPA (5 mg/l).



**Figura 130.** Concentración de oxígeno disuelto a lo largo de los cursos de agua muestreados

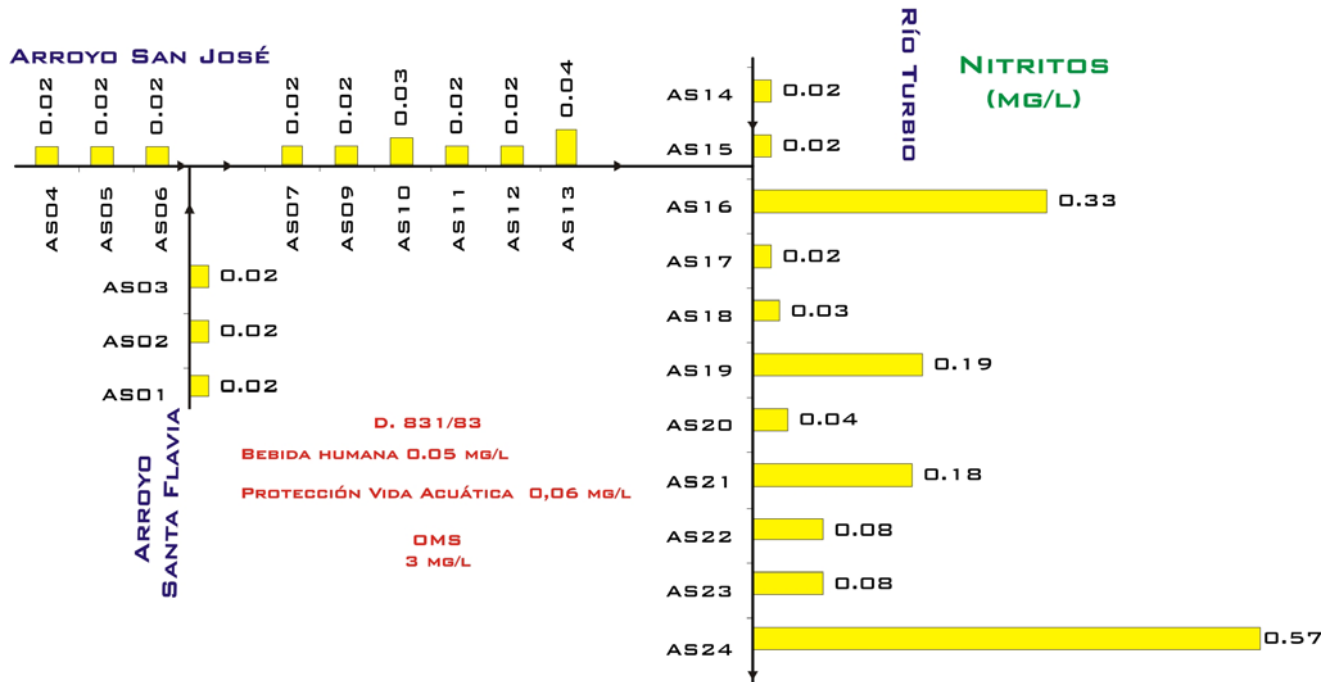
Otro de los parámetros analizados, y a partir del cual se pone en evidencia la influencia de los efluentes cloacales es el amonio (Figura 131).



**Figura 131.** Concentración de amonio total a lo largo de los cursos de agua muestreados

Del mismo modo que para el caso de la DBO5 y de la DQO, los mayores valores registrados corresponde a los puntos de muestreo ubicados aguas abajo de los efluentes cloacales provenientes de la localidad de Río Turbio. En este sentido, los valores registrados en estas zonas exceden los límites establecidos para estos parámetros tanto para el consumo humano como para la protección de la vida acuática.

Otro parámetro analizado fueron los nitritos (Figura 132), los cuales pueden estar presentes en las aguas, bien por la oxidación del amonio o por la reducción de los nitratos. En el primer caso, es casi seguro que su presencia se deba a una contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amonio.



**Figura 132.** Concentración de nitritos a lo largo de los cursos de agua muestreados

Como se observa en la Figura 132 los mayores valores se registraron sobre el río turbio, en donde la concentración de amonio fue muy baja. Esto se debe a que este último fue reducido a nitrito. Desde el punto de vista de los usos del agua, la existencia de nitritos la impotabiliza, debido a que su presencia indica una polución.

Finalmente fueron medidos cianuros y PCB es todas las muestras. Los valores registrados para estos parámetros fueron en todos los casos menores que el límite de cuantificación de la técnica utilizada (0,005 mg/l y 0,000001 mg/l, respectivamente). En el caso del cianuro, dicho límite es inferior a los valores guías considerados (0,1 mg/l para el consumo humano y 0,005 mg/l para la protección de la vida acuática). Para el caso de los PCB el límite de cuantificación es inferior que el valor guía para la protección de la vida acuática (0,000001 mg/l), pero es algo superior que el límite para consumo humano (0,00000079 mg/l).

## **1.6 HIDROGEOLOGÍA**

### **1.6.1 Introducción**

La caracterización hidrogeológica de la comarca en la cual se localizan los sitios definidos como Alternativa 1 y Alternativa 2, se concreto mediante tareas de gabinete y de campo. Las tareas de gabinete consistieron en la recopilación de publicaciones e informes inéditos preexistentes, su análisis crítico y su validación a los fines de la presente evaluación. Además, formando parte de las tareas de gabinete se realizó el análisis e interpretación geológica y geomórfica de la comarca correspondiente a la cuenca superior del río Turbio, dirigida al análisis hidrogeológico, a partir de registros satelitales multibanda de resolución media. También se procedió a efectuar el análisis e interpretación geológica y geomórfica de los sitios correspondientes a ambas alternativas mediante imágenes satelitales de alta resolución. A continuación de los trabajos de gabinete se realizaron observaciones de campo generales en la cuenca superior del río Turbio, y locales de detalle en las alternativas seleccionadas como probables sitios de fundación de las obras proyectadas. Las conclusiones que surgieron de las actividades reseñadas se exponen a continuación.

### **1.6.2 Hidrogeología de la cuenca superior del río Turbio. Marco hidrogeológico general que contiene a las alternativas 1 y 2**

La comarca referida, coincidente con la relevada en el ítem 5.1.3 Geología, presenta características hidrogeológicas que están directamente influenciadas por su naturaleza estratigráfica, geomorfológica e hidrológica. De esta forma, el basamento hidrogeológico lo constituyen las secuencias clásticas mezo-cenozoicas de mayor impermeabilidad, mientras que los acuíferos de mayor significación se localizan en las acumulaciones permeables más modernas que rellenan el piso de los valles principales. Estos últimos depósitos tiene granulometrias variables que van desde gravas gruesas hasta gravas medianas, y arenas gruesas, medianas y finas hasta limos y arcillas.

Debido a lo expuesto, la cuenca hidrogeológica explotable tiene una directa consonancia con la hídrica. Esta dependencia morfológica limita la extensión e importancia del recurso hidrogeológico ya que el mismo queda condicionado por la morfometría del piso del valle y por la potencia del depósito que lo rellena. El agua proviene de la recarga local y directa y es aportada por los cursos fluviales (río Turbio, arroyo San José, etc.) los que son alimentados por las precipitaciones pluviales y fusión de la nieve estacional.

De esta forma el acuífero más desarrollado en la comarca es el que se define como de tipo subálveo, sin posibilidad de aparecer el del tipo pedemontano debido a que los valles están indentados en el relieve serrano limitando la existencia de conos aluviales de gran desarrollo. Asimismo, acuíferos del tipo Meseta solo pueden desarrollarse en las localidades que se sitúan al Este de esta comarca, fuera del área relevada, en el ámbito de las planicies y terrazas glacifluviales mas extendidas.

Con respecto a la existencia de acuíferos profundos Gianni (2005) define como sistema hidrogeológico que los contiene, a la secuencia clástica de la formación Dorotea, a la que clasifica como Unidad Hidrogeológica 2, la que a partir del grado de fracturación que presenta da lugar a un acuífero de bajo rendimiento debido a su exiguo caudal. Por esta causa, no constituye un recurso utilizable mediante perforaciones usuales, situación que se verificó a partir de los intentos realizados por YPF con perforaciones que alcanzaron los 800 m de profundidad. Este acuífero se manifiesta en las galerías de las minas del yacimiento Río Turbio desde donde es captado y bombeado hacia el río homónimo. De acuerdo a lo manifestado por Gianni (2005), el sistemas de túneles se comporta como una gran galería filtrable que permite captar entre 80 y 100 m<sup>3</sup>/día de agua, los que podrían utilizarse para uso industrial.

De acuerdo con las características generales que presentan los acuíferos más desarrollados y explotados en la comarca y situados en el piso de los valles principales, se considera que se trata de capas freáticas o libres y de acuíferos semiconfinados, razón por la cual conforman cuerpos de agua que tienen una elevada vulnerabilidad a la contaminación dada la proximidad que mantienen con la superficie. Los pozos de captación para consumo se localizan en la Vega San José, tanto aguas arriba como aguas debajo de la represa, y en el tramo superior del río Turbio, aguas arriba de su confluencia con el arroyo San José.

Los acuíferos presentes en el valle del arroyo San José fueron estudiados en varias localidades situadas aguas arriba y aguas abajo del dique (Servicios Públicos Sociedad del Estrado de la Provincia de Santa Cruz en SEGEMAR, 2006), sitios en los cuales se realizan captaciones. Sus características más destacables son las siguientes:

- Existe una marcada variación lateral y vertical en la granulometría de las acumulaciones clásticas que componen a este sistema hidrogeológico.
- Estos depósitos de relleno de valle alcanzan espesores de aproximadamente 40 m
- Desde el techo a la base se suceden niveles de turba, gravas y arenas que gradan a arcillas en la base
- El agua se capta a profundidades que oscilan entre los 27 y 30 m de profundidad, dependiendo de la localización de la perforación.
- En algunos pozos se observa una clara separación entre el acuífero libre y el acuífero semiconfinado a partir de la existencia de un nivel con arcillas plásticas.

### **1.6.3 Hidrogeología correspondiente a las alternativas 1 y 2**

A continuación se describen las características hidrogeológicas que poseen las alternativas 1 y 2, las que fueron seleccionadas como posibles sitios para la fundación del proyecto y sus obras conexas.

#### **1.6.3.1 Hidrogeología de la Alternativa 1**

Como ya se indicó al desarrollar el ítem 5.1.3 Geología, el área en la cual se sitúa la Alternativa 1 se localiza inmediatamente al SE del poblado de Julia Dufour, sobre el nivel de terraza aluvial superior del río Turbio.

Se descarta en este ambiente la existencia de acuíferos profundos explotables ya que, de acuerdo a las investigaciones realizadas por Gianni (2005), los acuíferos de este tipo que están presentes en la comarca son de bajo rendimiento debido a su mínimo caudal, razón por la cual no configuran un recurso aprovechable mediante las técnicas de captación más frecuentes.

Por lo tanto, en esta sección del río Turbio los acuíferos con posibilidad de explotación se localizan en el cuerpo de las acumulaciones permeables más modernas que rellenan el piso del valle. Esta directa dependencia del acuífero con la morfometría fluvial y el relleno que agrada al valle, permite concluir que su principal recarga es local y directamente aportada por el río Turbio, y en menor importancia, por las precipitaciones pluviales y fusión de la nieve estacional que caen sobre las pendientes adyacentes del valle. Estas características permiten clasificarlo como un acuífero del tipo subálveo.

De esta forma, en este sitio el basamento hidrogeológico lo configura la Formación río Guillermo de edad eocena, la que es la unidad clástica local de mayor impermeabilidad. La misma aflora en forma saltuaria sobre las pendientes del valle y en ámbitos reducidos localizados en sectores del curso fluvial y niveles de terrazas.



El sistema hidrogeológico que está presente en el sitio correspondiente a la Alternativa 1, puede ser caracterizado a partir de la información que surge del estudio de suelos para fundaciones que realizó I.C. Ingeniería Consultora (2005) para el Ministerio de Planificación. En esta memoria técnica, a partir de perforaciones realizadas en el predio correspondiente a la Alternativa 1, se determinó que en este sitio se localiza un relleno de valle integrado de arenas y gravas que superan los 26 m de potencia.

El estudio consistió en la realización de tres perforaciones que permitieron establecer el espesor de las acumulaciones y litologías alcanzadas, y la obtención de muestras que fueron posteriormente analizadas en laboratorio. Si bien no se presenta un perfil de detalle, estas perforaciones permiten establecer, en forma general, espesores de aluvio, granulometrías más destacadas y profundidad del techo de las sedimentitas impermeables que subyacen a las acumulaciones modernas.

De acuerdo con los datos aportados en esta investigación directa del subsuelo, desde la superficie y hacia los niveles profundos se extiende una acumulación de arenas arcillosas con gravas en un espesor de 3 metros. Esta acumulación se puede observar en los afloramientos que existen en los cortes que el río Turbio realiza sobre las acumulaciones de la terraza inferior, especialmente en las pendientes de corte o curvas externas del cauce activo (Figura 133)



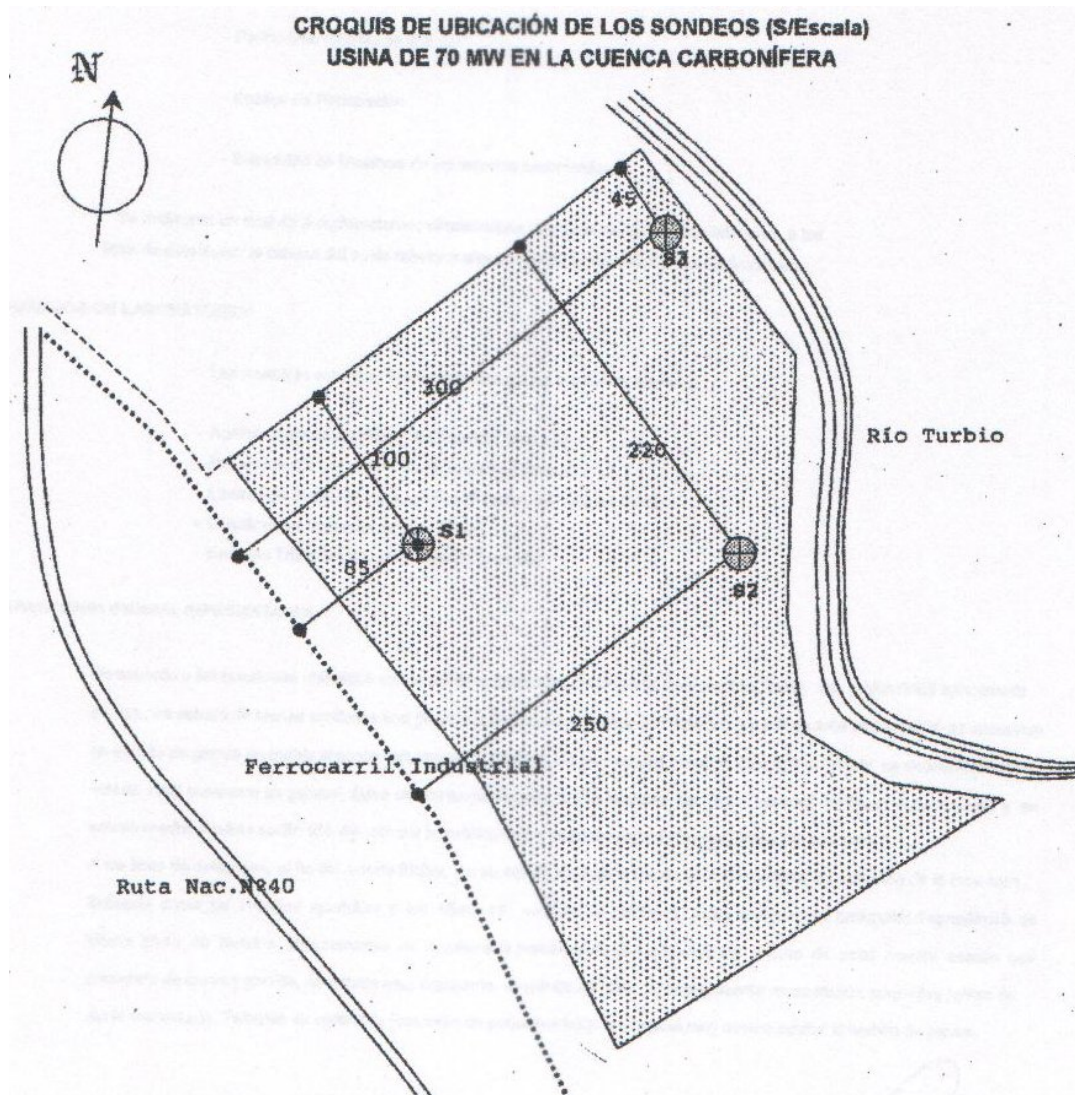
**Figura 133.** Pendiente de corte del río Turbio que expone la sección superior de las acumulaciones aluviales de limos, arcillas y gravas.

Por debajo de esta acumulación de 3 m de potencia, se extiende un estrato compuesto de gravas en matriz arenosa, el que en general tiene alta compactación, salvo en los sectores en los cuales disminuyen las fracciones clásticas más finas.

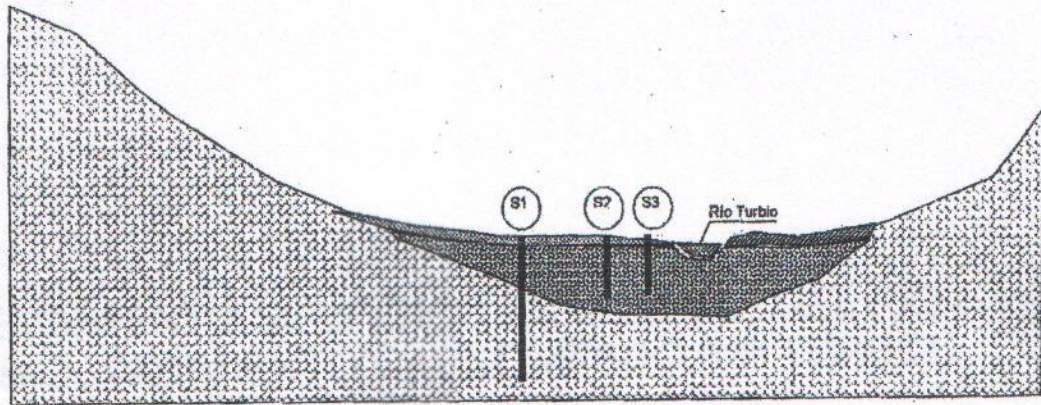
Con la finalidad de establecer la profundidad a la cual se localiza el basamento hidrogeológico, I.C. Ingeniería Consultora (2005) procedió a extender uno de los sondeos hasta una profundidad de 68 m, mas el largo de la Barra de Sondeo. En esta perforación, identificada como S1 (Figuras 2 y 3), a los 30 m de profundidad se determino la presencia de un banco con alta compactación integrado de arcillas y limos de color pardo oscuro, con presencia de arena y gravas finas. Formando parte de la matriz se observaron además materiales clásticos lajosos oscuros, los que sin duda son de naturaleza carbonosa.

Se trata, sin dudas, de la Formación río Guillermo, que en esta localidad se manifiesta según bancos limo arcillosos en los cuales se intercalan niveles de carbón.

En las restantes perforaciones, realizadas por I.C. Ingeniería Consultora (2005), localizadas en el sitio correspondiente a la Alternativa 1 definidas como S2 y S3 (Figuras 2 y 3), se alcanzaron profundidades de 24 m y 26 m respectivamente, destacándose que en ninguna de ellas fue perforado el techo del basamento hidrogeológico. Finalmente en este estudio se indica la presencia de un nivel freático a los 3 m de profundidad (Figura 134).



**Figura 134.** Localización de las perforaciones S1, S2 y S3. Tomado de I.C. Ingeniería Consultora (2005)



**Figura 135.** Esquema del perfil geológico según una sección transversal al valle del río Turbio, en el sitio correspondiente a la Alternativa 1. Tomado de I.C. Ingeniería Consultora (2005)

La información sobre los espesores aluviales que surgen del estudio I.C. Ingeniería Consultora (2005), son coincidentes con los realizados por Gianni (2005), quien efectuó un relevamiento geofísico mediante varios sondeos verticales: uno a lo largo del arroyo San José-río Turbio desde el sitio de la Alternativa 1 hasta 6 km aguas arriba de esta (Sondeo I-I), y dos transversales al valle en las proximidades de la referida Alternativa 1 (Sondeo II-II y Sondeo III-III). Este estudio tuvo la finalidad de establecer las características hidrogeológicas y geométricas del subsuelo en las inmediaciones del predio asignado a la futura planta de Energía Eléctrica.

Como ya se indicó precedentemente, Gianni (2005) descarta la posibilidad de realizar extracciones de agua subterránea del acuífero profundo debido a que no configura un recurso aprovechable por su bajo caudal y porque su extracción no podría realizarse mediante las técnicas de captación mas usuales.

De esta forma, el único acuífero explotable apto para consumo humano es el que se sitúa en el relleno moderno que ocupa el piso del valle. Teniendo en cuenta el resultado del corte paralelo al eje del valle, este relleno varía desde un mínimo de 30 m, en las proximidades de la Alternativa 1, hasta un máximo de 55 m, algunos km aguas arriba de este sitio, con un promedio de 42 m y una resistividad que indica buena calidad química del agua contenida. Para este acuífero Gianni (2005) define un nivel estático que oscila entre - 2,4 m y - 6 m y agua de baja concentración salina. Además determina que el relleno del valle se encuentra totalmente saturado.

Mediante la información resultante de la prospección geofísica realizada en el Sondeo II-II, situado en las inmediaciones de la futura planta de Energía Eléctrica y normal al eje del valle, determina un espesor de relleno aluvial que oscila en los 32 m, y un leve aumento de la resistividad, característica que interpreta como una mejora en la calidad química del agua. Además, este autor considera que este sector del valle, la sección del relleno adopta una forma trapezoidal. Esta suposición sumada al ancho de la quebrada le permite estimar que la sección de flujo sería de 25.000 m<sup>2</sup>. Finalmente considera que por debajo del relleno aluvial se localizan los términos superiores de la Formación Dorotea.

Sin embargo es conveniente destacar que, de acuerdo con el mapa geológico publicado por Malumian y Panza (2000), es más probable que se trate de la Formación río Guillermo, cuyos afloramientos se sitúan en las inmediaciones de este sitio. Además, la existencia de afloramientos discontinuos de esta formación, en el lateral del canal activo del río Turbio y en el ámbito de las terrazas inferiores, permite sugerir que los espesores de aluvio podrían reducirse en algunos sitios.

Finalmente en el estudio realizado por SEGEMAR (2006) se pudo verificar que el acuífero libre tiene un nivel freático que oscila entre los 1 m y 2,80 m de profundidad, y la red de flujo subterránea es coincidente con el escurrimiento superficial.

Como conclusión, teniendo en cuenta las características estratigráficas, sedimentológicas y morfométricas referidas para este sistema hidrogeológico, se considera que presenta similares posibilidades de explotación a las que actualmente se realizan para consumo, y que se localizan en la sección del río Turbio que se extiende aguas arriba de su confluencia con el arroyo San José.

También serían similares a las que se sitúan en el arroyo San José, aguas arriba y aguas abajo del dique. Sin embargo, es probable que las acumulaciones que están presentes en esa sección del indicado arroyo, difieran parcialmente de las que se localizan en el ámbito del sitio 1 debido a la variación de caudales que debieron mostrar estos dos cursos fluviales durante el periodo de aluviación del piso del valle. En el primer caso, aumenta la presencia de granulometrias finas mientras que en segundo caso estas disminuyen mientras que las gravas arenosas incrementa su presencia.

### **1.6.3.2 Hidrogeología de la Alternativa 2**

El área en la cual se sitúa la Alternativa 2 corresponde a la sima de una meseta limitada al Sur y al Este por los cursos fluviales del arroyo San José y el río Turbio. Si bien esta superficie subhorizontal esta claramente controlada por los bancos duros que coronan a la Formación río Turbio, sus afloramientos son saltuarios debido a que la misma esta cubierta por una acumulación till alojado integrado de gravas, arenas, limos y arcillas cuyo espesor se estima del orden de los 2 metros.

No existe información sobre las características hidrogeológicas de esta localidad. De todas formas, teniendo en cuenta las particularidades geológicas, geomórficas e hidrológicas ya referidas para esta comarca, se descarta en un primer análisis la existencia de acuíferos explotables, ya sean libres, semiconfinados o profundos, en el ámbito de esta alternativa.

No obstante, se aclara que no se cuenta hasta el presente con datos directos o indirectos (perforaciones de exploración e investigaciones geofísicas mediante sondeos eléctricos verticales) que permitan confirmar de manera terminante esta presunción.

## **1.6.4 Calidad de Agua Subterránea**

### **1.6.4.1 Diseño de Muestreo**

Para el análisis de la calidad del agua subterránea se tomaron un total de 19 muestras las cuales fueron extraídas de perforaciones existentes. Del mismo modo que para las aguas superficiales, las muestras fueron tomadas en una única campaña durante los días 2 y 16 de abril del 2008, coincidiendo con el inicio del otoño. Si bien no existe una marcada estacionalidad hídrica, las mayores precipitaciones se registran en esta estación. Por otro lado, los mayores caudales para la zona se registran durante la primavera, como consecuencia de los aportes níveos, lo que constituye la principal fuente de recarga en el sistema hidrológico. En este sentido, los resultados obtenidos corresponden a un período de bajo caudal en donde se registra una recarga de origen pluvial.

En líneas generales los pozos de extracción presentes en el área de estudio se encuentran explotando el acuífero constituido por un relleno aluvial moderno. El mismo presenta una capa inicial de 8 metros de turba, a la que le siguen 7 metros de gravas finas y gravillas con arena subordinada. Desde los -15 metros a los -40 metros aparecen arenas con algunos bancos delgados con cierta litificación. A partir de los -40 metros normalmente se hallan arcillas de colores gris y celeste que probablemente pertenezcan a la zona alterada de la discordancia con la Formación Dorotea (SEGEMAR, 2006). La principal recarga del acuífero es local y directamente aportada por los cursos de agua, y en menor importancia, por las precipitaciones pluviales y fusión de la nieve estacional que caen sobre las pendientes adyacentes del valle.

Salvo uno, todos los pozos relevados pertenecen a Servicios Públicos Sociedad y Estado. En este sentido, de las 18 perforaciones a cargo de esta empresa 10 son operadas por la dependencia de Río Turbio. Las 8 restantes se encuentran a cargo de Servicios Público de 28 de Noviembre, mientras que el último pozo corresponde a una perforación de un privado (Anexo I – Mapa I-17).

Las 10 perforaciones correspondientes a Servicios Públicos Río Turbio se encuentran ubicadas en la vega San José, 3 de ellas aguas arriba del dique y 7 aguas abajo del mismo.

Por otro lado, de los 8 pozos correspondientes a Servicios Públicos 28 de Noviembre, 5 se encuentran distribuidos a lo largo del valle del río Turbio, antes de la confluencia del mismo con el arroyo San José. Los 3 pozos restantes se encuentran muy cercanos a la confluencia de estos dos cursos de agua.

Finalmente, el pozo del Sr. Gilberto Pareja se encuentra en un terreno lindero al río Turbio, ubicado aguas abajo de la Alternativa 1.

A continuación se presentan las profundidades a las que fueron extraídas cada una de las muestras (Tabla 23). Resulta importante mencionar que el nombre de cada pozo hace referencia a la numeración con la que figuran según Servicios Públicos, tanto de Río Turbio como de 28 de Noviembre. En este sentido, ambas dependencias han generado una numeración independiente por lo que existen pozos con el mismo número. Por otro lado, la ausencia de algunos pozos con números intermedios, se debe a que los mismos se encuentran fuera de operación, no siendo posible la toma de muestras de los mismos.

**Tabla 23.** Profundidades a las que fueron tomadas las muestras de agua subterránea

<b>Perforaciones</b>			
<b>Zona:</b> Vega San José		<b>Operador:</b> Servicios Públicos Río Turbio	
<b>Sector:</b> Aguas Arriba del Dique San José			
	<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Profundidad</b>
	1	Pozo 2	30 m
	2	Pozo 6	30 m
	3	Pozo 8	30 m
<b>Sector:</b> Aguas Abajo del Dique San José			
	4	Pozo 1	20 m
	5	Pozo 3	22 m
	6	Pozo 5	35 m
	7	Pozo 7	28 m
	8	Pozo 9	28 m
	9	Pozo 11	34 m
	10	Pozo 19	30 m
<b>Zona:</b> Río Turbio A. arriba		<b>Operador:</b> Servicios Públicos 28 de Noviembre	
<b>Sector:</b> Entre confluencia Arroyo San José-Río Turbio y Punte Ruta N° 40			
	11	Pozo 1	12 m
	12	Pozo 2	23 m
	13	Pozo 4	25 m
	14	Pozo 6	13 m
	15	Pozo 7	11 m
<b>Sector:</b> Confluencia Arroyo San José y río Turbio			
	16	Pozo 12	30 m
	17	Pozo 13	30 m
	18	Pozo 14	30 m
<b>Zona:</b> Río Turbio A. abajo		<b>Operador:</b> Privado	
<b>Sector:</b> Terreno de Sr. Gilberto Pareja			
	19	-	3 m

Las especificaciones de los parámetros medidos así como los métodos analíticos mediante los cuales los mismos han sido determinados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 24.** Especificaciones del muestreo de agua subterránea.

Parámetros a determinar	Límite de Detección (mg/l)	Metodología de análisis	Metodología de base a implementar en muestreos y preservación de muestras
<b>PCBs</b>	< 0,000001	EPA 3510 C-8082	<p>ISO 5667-2 Directivas generales sobre técnicas de muestreo.</p> <p>ISO 5667-3 Guía para la preservación y manipuleo de las muestras.</p> <p>ISO 5667-11 Directivas para el muestreo de aguas subterráneas.</p> <p>ISO 5667-14 Directivas sobre el aseguramiento de la calidad del muestreo y manipulación de agua.</p> <p>ISO 5667-18 Guía para el muestreo de aguas subterráneas en sitios contaminados.</p>
<b>Metales Pesados</b>			
Aluminio total	< 0,2	EPA 3005 A-7020	
Antimonio	< 0,01	EPA 7041	
Arsénico total	< 0,01	SM 3500 As B	
Boro total	< 0,2	SM 4500 B B	
Cadmio total	< 0,0005	EPA 3020 A-7131	
Cinc total	< 0,02	EPA 3005 A-7950	
Cobre total	< 0,01	EPA 3020 A-7211	
Cromo total	< 0,005	EPA 3020 A-7191	
Manganeso total	< 0,05	EPA 3005 A-7460	
Mercurio total	< 0,0001	EPA 7470-A	
Níquel total	< 0,01	EPA 3020 A-7521	
Plata total	< 0,05	EPA 7760	
Plomo total	< 0,01	EPA 3020 A-7421	
Selenio total	< 0,01	EPA 7740	
Vanadio total	< 0,05	EPA 3020 A-7911	
<b>Amonio total</b>	< 0,05	SM 4500-NH3 B C/F	
<b>Cianuro total</b>	< 0,005	SM 4500- CN C/E	

Los resultados obtenidos fueron comparados con los Niveles Guías para el Consumo Humano con tratamiento convencional, para Irrigación y para el Consumo de Ganado establecidos por el Decreto N° 831/93. Por otro lado, también se tuvieron en consideración los Niveles Guías para el Consumo Humano establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

#### 1.6.4.2 Resultados

De todos los parámetros analizados, solo superaron los niveles de referencia determinados en el Decreto N° 831/93, el manganeso, el zinc y el amonio.

Para este último, el decreto solo estipula un valor límite para el consumo humano (0,05 mg/l), el cual fue superado solo por un par de muestras, la P10 (0,35 mg/l) correspondiente al Pozo 8 de Servicios Públicos Río Turbio y ubicado en la vega San José aguas arriba del dique del mismo nombre, y la P19 (0,21 mg/l), correspondiente al Pozo en la propiedad del Sr. Gilberto Pareja.

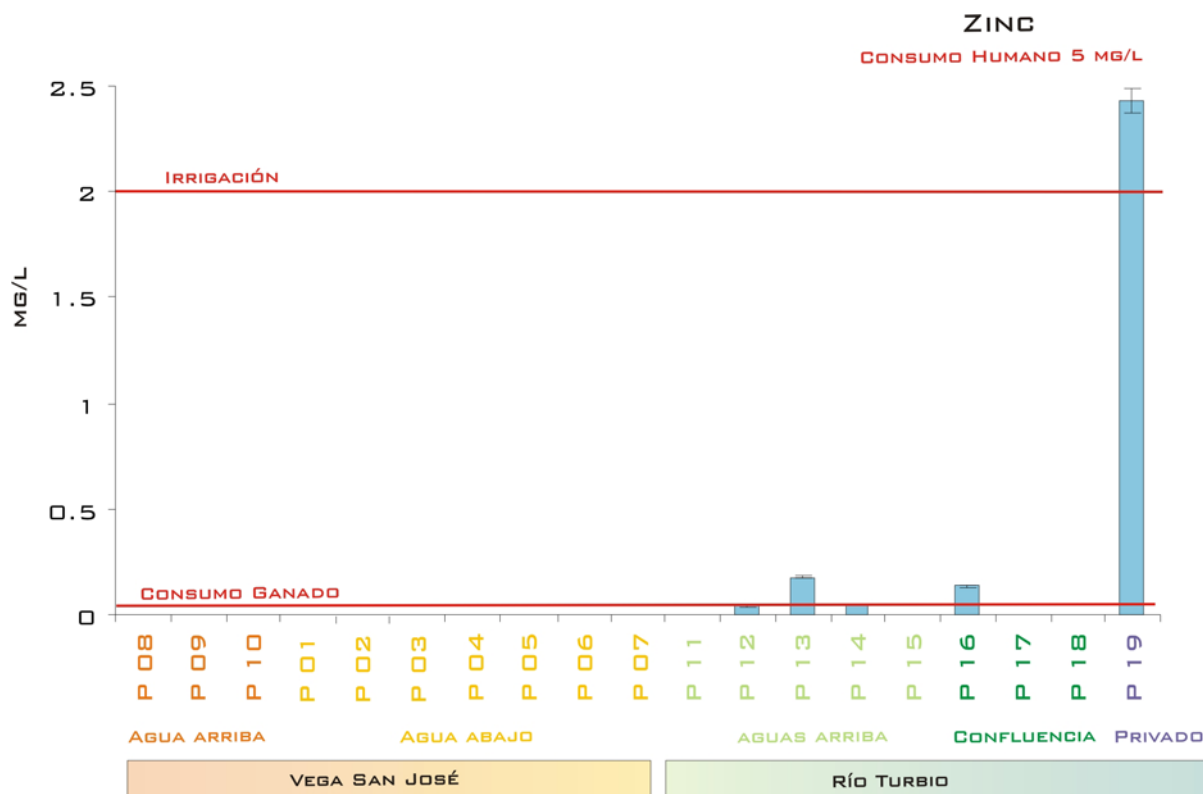
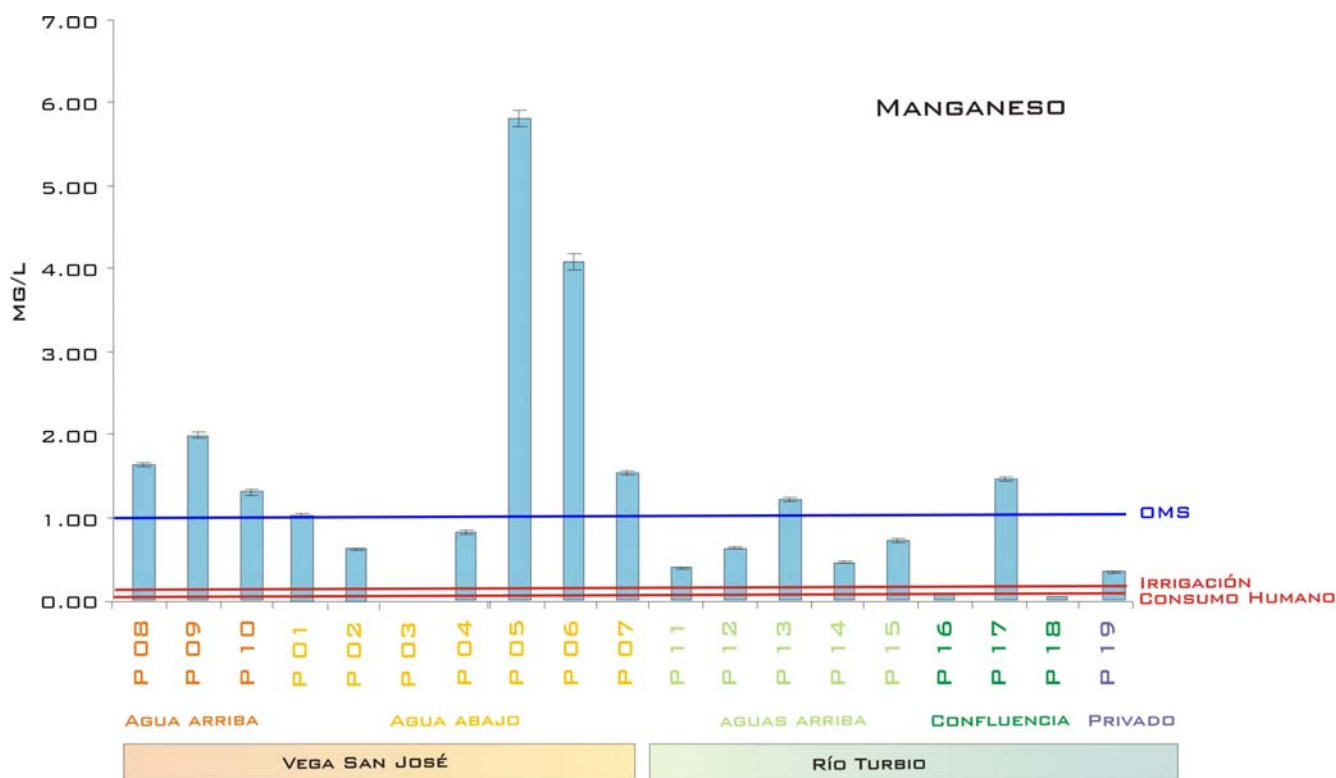


Figura 136. Concentraciones de zinc (mg/l) en las muestras de agua subterránea

En cuanto al zinc, el decreto presenta niveles guía para el consumo humano, para la irrigación y para el consumo de ganado (5, 2 y 0,05 mg/l, respectivamente). Del total de las muestras, solo 3 (P13, P16 y P19) presentaron valores superiores al nivel guía para el consumo del ganado. De estas tres muestras, solo una (P19) presentó una concentración de zinc que compromete la calidad del agua para su uso en irrigación. Finalmente, ninguna de las muestras tomadas presentó una concentración tal que afectara la calidad del agua para consumo humano (Figura 136).



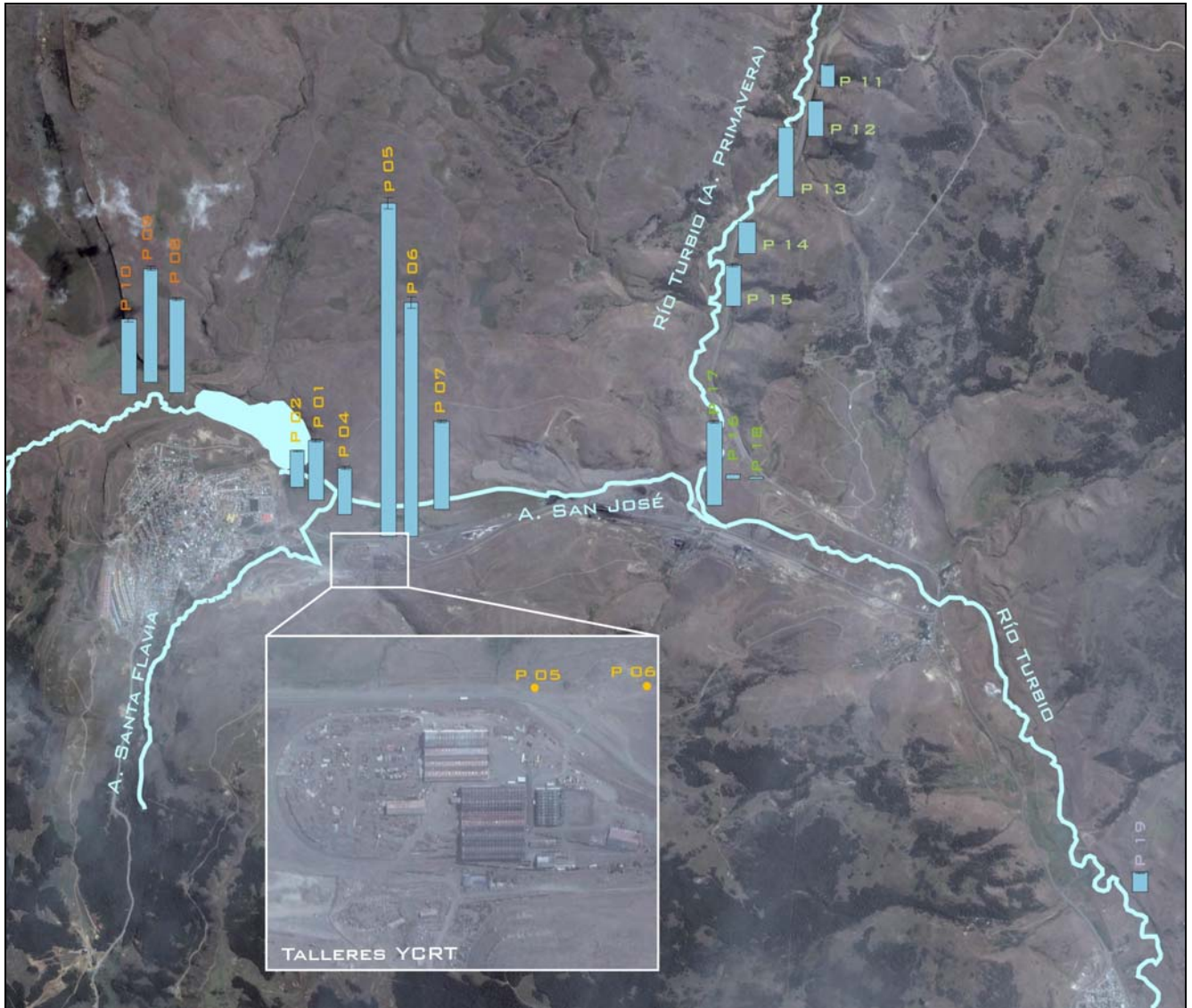


**Figura 137.** Concentraciones de manganeso (mg/l) en las muestras de agua subterránea

Finalmente, el manganeso fue el metal pesado que se encontró en mayor concentración. Salvo P03 y P18, todas las muestras analizadas superaron al menos uno de los niveles guías. En este sentido, en todos los casos se registraron valores que comprometen la calidad del agua para el consumo del humano. La muestra P16 fue la única que presentó un nivel inferior al límite para el empleo del agua en irrigación.

Por otro lado, el manganeso fue el único de los metales analizados, para los que algunas muestras superaron los niveles guías establecidos por la OMS.

Como se puede observar en la Figura 137, en prácticamente todas las muestras se registró la presencia de manganeso. Este patrón coincide con el observado en las aguas superficiales, en las cuales el manganeso se encontró presente en todas las muestras tomadas y en concentraciones por encima de las recomendadas para los diferentes usos.



**Figura 138.** Concentraciones de manganeso en las muestras de agua subterránea

Si bien presente en todas las muestras, resulta importante mencionar que el agua extraída de los pozos P05 y P06, presentó manganeso en concentraciones de más del doble que en el resto de las muestras analizadas.

Como se mencionó anteriormente para el análisis de aguas superficiales, el manganeso es un compuesto que se encuentra presente naturalmente en el agua superficial, en el agua subterránea y en suelos, siendo estos últimos una de las principales fuentes naturales de aporte (WHO, 2004).

Además de ocurrir naturalmente en el ambiente, el manganeso puede ser introducido por actividades humanas. Mientras que valores como máximo de 0,8 mg/l se relacionan con la concentración de manganeso en cuerpos de agua superficiales, las condiciones reductoras que se observan en las aguas subterráneas favorecen niveles mayores de este metal. En este sentido, en aguas subterráneas neutras se han reportado concentraciones de 1,3 mg/l, mientras que aguas subterráneas ácidas las concentraciones pueden ser aún mayores, registrándose niveles naturales de hasta 9,6 mg/l (ATSDR, 2000).

De este modo, si bien los valores de manganeso fueron superiores que los niveles guías considerados, estos se encontraron dentro del rango de valores registrados para aguas subterráneas. Más aún, los valores registrados en las perforaciones localizadas en la vega San José aguas arriba del dique, en donde no se considera posible la afectación del agua subterránea por actividades antrópicas, presentó valores similares al resto de los pozos.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, dos muestras presentaron concentraciones de manganeso significativamente mayores que el resto. Estas muestras fueron extraídas en la Vega San José (Figura 138).