

Modelo Hidrológico de la Cuenca del Río de las Taguas Superior

Actualización 2004

10 Mayo 2004

Preparado por:

Michael A. Jones
7609 Pickard NE
Albuquerque, NM, USA 87110
maj666@comcast.net
505-280-4985

Este documento es una traducción al Español del Informe original en Inglés, “**Hydrologic Model of the Upper Rio de las Taguas Basin, May 10, 2004**”. En caso de inconsistencias con el texto original prevalecerá la versión del documento en Inglés.

Modelo Hidrológico de la Cuenca del Río de las Taguas Superior

Actualización 2004

10 de mayo de 2004

Tabla de Contenidos

1.0 Introducción	4
1.1 Marco Hidrológico.....	4
1.2 Trabajo Previo.....	6
1.3 Resumen de Cambios al Modelo 2002.....	6
2.0 Desarrollo y Estructura del Modelo.....	8
2.1 Balance de Aguas de Manto de Nieve.....	9
2.1.1 Precipitación	9
2.1.2 Sublimación	11
2.1.3 Derretimiento.....	11
2.2 Modelo Numérico.....	13
2.2.1 Caudal de Aguas Subterráneas y Características Acuíferas.....	15
2.2.2 Caudal de Aguas Superficiales y Características del Sistema de Cursos de Agua.....	18
2.2.3 Recarga de Aguas Subterráneas.....	20
2.2.4 Evapotranspiración de Aguas Subterráneas.....	20
2.2.5 Salida de Aguas Subterráneas.....	20
3.0 Calibración del Modelo.....	26
4.0 Resultados del Modelo.....	35
5.0 Referencias.....	43

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Precipitación Medida y Estimada
Tabla 2.2 Evaporación Potencial y Derretimiento Potencial
Tabla 2.3 Parámetros para el Balance de Aguas del Manto de Nieve
Tabla 3.1 Parámetros del Acuífero en el Modelo
Tabla 3.2 Tramos de Ríos en el Modelo
Tabla 3.3 Especificaciones del Limite Dependiente del Nivel Freático (del Acuífero)
Tabla 5.1 Balance Simulado de Agua, Las Taguas Superior
Tabla 5.2 Balance Simulado de Agua, Despoblados
Tabla 5.3 Balance Simulado de Agua, Guanaco Zonzo
Tabla 5.4 Balance Simulado de Agua, Potrerillos
Tabla 5.5 Balance Simulado de Agua, Arroyo Canito
Tabla 5.6 Balance Simulado de Agua, Arroyo Turbio
Tabla 5.7 Balance Simulado de Agua, Río Turbio
Tabla 5.8 Balance Simulado de Agua, Amarillos
Tabla 5.9 Balance Simulado de Agua, Las Taguas Inferior

Lista de Figuras

Figura 1.1 Área de Estudio, Sub-Cuencas y Puntos de Monitoreo

Figura 2.1 Esquema de Balance de Aguas

Figura 2.2 Grilla del Modelo

Figura 2.3 Zonas Hidrogeológicas - Capa 1

Figura 2.4. Tramos y Nodos de Ríos

Figura 2.5 Zonas de Recarga de Aguas Subterráneas

Figura 2.6 Ubicaciones de Evapotranspiración

Figura 3.1 Niveles de Agua Subterránea Medida y Simulada

Figura 3.2 Curvas de Nivel Simuladas de Agua Subterránea

Figura 3.3a Caudal Medido y Simulado en el Tramo del Río de las Taguas Superior

Figura 3.3b. Caudal Medido y Simulado en el Río de los Despoblados

Figura 3.3c. Caudal Medido y Simulado en el Río de las Taguas, Despoblados – Tramo del Guanaco Zonzo

Figura 3.3d. Caudal Medido y Simulado en el Río del Guanaco Zonzo

Figura 3.3e. Caudal Medido y Simulado en el Río de las Taguas, Guanaco Zonzo – Tramo del Potrerillos

Figura 3.3f. Caudal Medido y Simulado en el Río Potrerillos Superior

Figura 3.3g. Caudal Medido y Simulado en el Río Potrerillos Inferior

Figura 3.3h. Caudal Medido y Simulado en el Río de las Taguas, Potrerillos – Tramo del Turbio

Figura 3.3i. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Canito Superior, Bifurcación Sur

Figura 3.3j. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Canito Superior, Bifurcación Norte

Figura 3.3k. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Canito Inferior

Figura 3.3l. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Turbio Inferior

Figura 3.3m. Caudal Medido y Simulado en el Río Turbio Inferior

Figura 3.3n. Caudal Medido y Simulado en el Río de las Taguas, Turbio – Tramo del Amarillos

Figura 3.3o. Caudal Medido y Simulado en el Río Amarillos

Figura 3.3p. Caudal Medido y Simulado en el Río de las Taguas, Debajo del Amarillos

1.0 INTRODUCCION

A continuación se describe un modelo hidrológico actualizado de la cuenca del Río de las Taguas Superior en la provincia de San Juan, Republica Argentina. La cuenca del Río de Las Taguas Superior incluye las cuencas argentinas en el área de los proyectos Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama. El modelo fue desarrollado originalmente sobre la base de información topográfica, climática e hidrogeológica disponible que fue recolectada en la zona desde 1998 a 2002 (WMCL, 2002). El modelo ha sido actualizado y modificado utilizando información adicional recolectada entre 2002 y 2004.

El modelo será utilizado para:

- Evaluar la disponibilidad de aguas superficiales y aguas subterráneas para uso de la mina dentro de un rango de condiciones climáticas.
- Proyectar los caudales y niveles de agua subterránea resultantes de la construcción y operación del dique de colas de Lama incluyendo los caudales de los sub-drenes, los caudales de aguas superficiales desviados, y el nivel freático del acuífero debajo del revestimiento de la instalación.
- Estimar el caudal proveniente de las instalaciones de estéril de Canito, Potrerillos y El Moro. Proveer información sobre la filtración de las instalaciones de estéril y el caudal de los cursos de agua para las evaluaciones de los impactos sobre la calidad del agua.
- Estimar los impactos aguas abajo de los proyectos a causa del desarrollo del suministro de agua.

Las aplicaciones de dicho modelo serán documentadas en informes separados y serán utilizadas para apoyar las tareas de diseño y tramitación de permisos.

El propósito de este informe es describir el desarrollo y la calibración del modelo hidrológico, y presentar estimaciones del balance hídrico para las cuencas en el área de los proyectos Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama.

1.1 Marco Hidrológico

El área de estudio esta ubicada en la alta Cordillera de los Andes, cerca de la frontera Chileno-Argentina, entre los 29 y 30 grados de latitud sur. Las elevaciones en el área de estudio varían entre 3.700 y 6.000 m s.n.m.

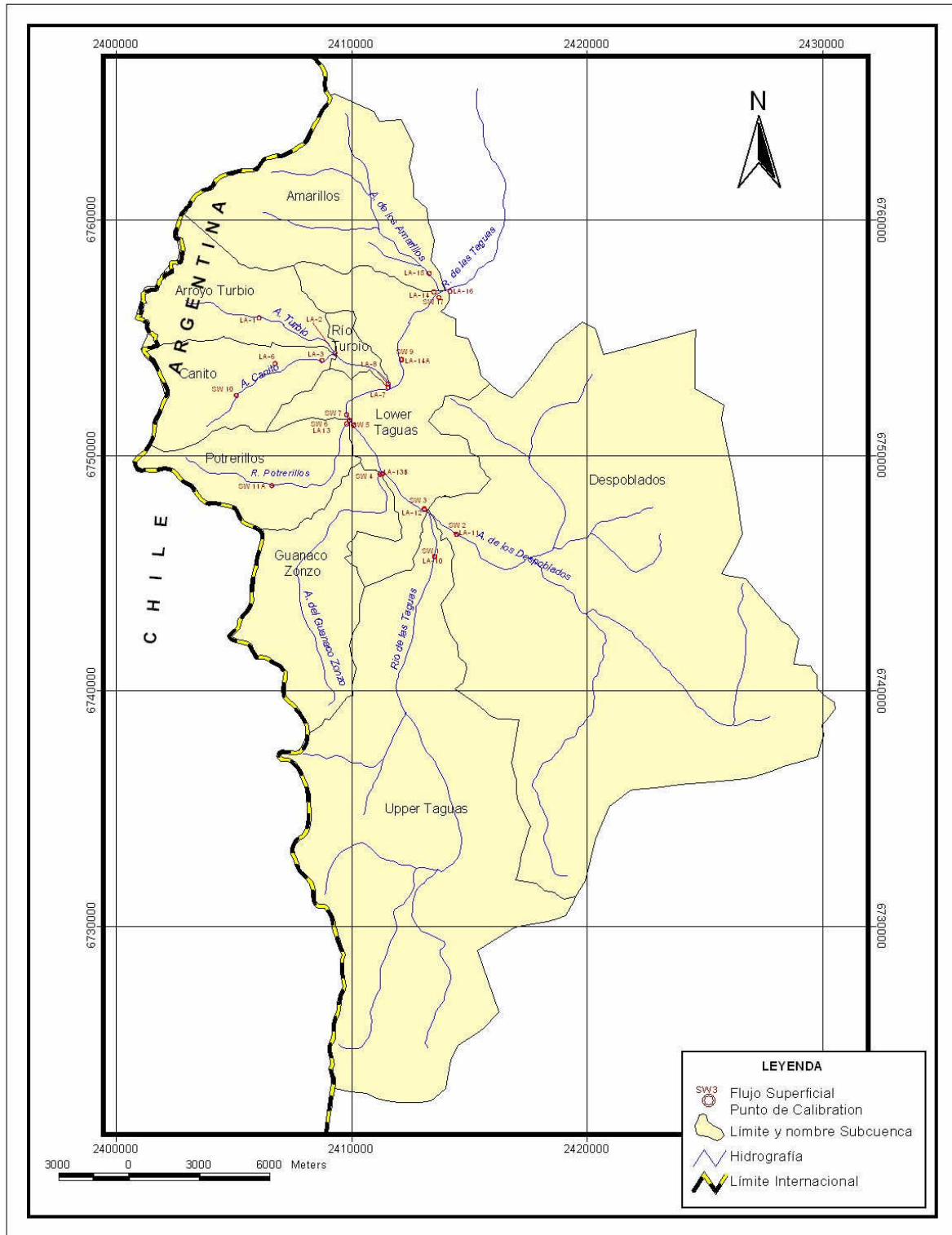
El clima es frío y árido. Las precipitaciones se producen principalmente en forma de nevada invernal. Los caudales de los cursos de aguas superficiales alcanzan su máximo nivel durante el derretimiento de nieve de la primavera, y llegan a un mínimo en el invierno. Los patrones de precipitación están caracterizados por una secuencia de años secos, con un promedio estimado de precipitación en períodos secos de alrededor de 125 mm/año, interrumpidos por los años en que se produce El Niño, con un promedio de precipitación de aproximadamente 475 mm/año (WMCL, 2002). Los años de El Niño ocurren en promedio cada cinco años. Los glaciares perennes situados en la alta montaña aportan cantidades considerables de agua al sistema de aguas subterráneas y superficiales. El nivel de evaporación es alto, con una evaporación potencial promedio de alrededor de 1400 mm/ año (WMCL, 2002).

La Figura 1.1 muestra la cuenca del Río de las Taguas Superior. El área de estudio incluye la cuenca topográfica del Río de las Taguas hasta justo debajo de la confluencia con el Arroyo de los Amarillos. El área de estudio de 627 km² está dividida en las siguientes nueve cuencas:

- Taguas Superior (155 km²)
- Despoblados (243 km²)

- Guanaco Zonzo (39 km²)
- Potrerillos (27 km²)
- Canito (25 km²)
- Arroyo Turbio (27 km²)
- Río Turbio (4 km²)
- Amarillos (52 km²)
- Taguas Inferior (55 km²)

Figura 1.1 Área de Estudio, Sub-Cuencas y Puntos de Monitoreo



Notas de Figura 1.1: “Upper Taguas y Lower Taguas”, equivale a Taguas Superior y Taguas Inferior. Sub Basin Outline and Name equivale a Nombre y Contorno de la Sub-Cuenca. Surface Flow Calibration Point equivale Punto de Calibración del Caudal Superficial.

Las entradas hacia la cuenca consisten en agua de derretimiento del manto de nieve y de los glaciares. El derretimiento de nieve de primavera comienza en septiembre y alcanza su valor máximo en octubre-noviembre. La cantidad de derretimiento de nieve es variable dependiendo del nivel de precipitación. En un año seco, el pico de escurrimiento primaveral es pequeño o no llega a producirse, mientras que en un año húmedo el pico es pronunciado y el período de escurrimiento es prolongado.

El derretimiento de glaciares que se produce en verano comienza en diciembre y llega a su máximo nivel en febrero. El volumen correspondiente al derretimiento de glaciares es relativamente uniforme año tras año. Este derretimiento aporta un caudal considerable a la cuenca del Canito y menor cantidad a las cuencas del Arroyo Turbio y Amarillos.

Los volúmenes de agua que salen de la cuenca corresponden principalmente a caudales superficiales, con un componente secundario de evapotranspiración de aguas subterráneas y un componente menor de salida de aguas subterráneas. Los caudales superficiales han sido medidos regularmente desde 1998 en las ubicaciones que se indican en la Figura 1.1.

1.2 Trabajo Previo

El modelo se basa en la hidrogeología del área de estudio según fue caracterizada por WMCL, 2002, en “Hydrogeological Summary and Water Balance” (Resumen Hidrogeológico y Balance de Aguas). La información disponible incluye cartografías topográficas y geológicas, datos meteorológicos, mediciones de caudales de aguas superficiales, niveles de aguas subterráneas y resultados de pruebas del acuífero.

El modelo hidrológico original del Río de las Taguas Superior esta documentado en Jones, 2002, “Hydrologic Model of the Upper Río de las Taguas Basin” (Modelo Hidrológico de la Cuenca del Río de las Taguas Superior).

Para el proyecto Pascua-Lama se desarrolló un modelo hidrológico anterior de la cuenca del Turbio-Canito (Figura 1.1), que está documentado en Jones, 2001a, “Lama Hydrologic Model” (Modelo Hidrológico de Lama). Este modelo fue utilizado para evaluar los caudales de aguas y los niveles de aguas subterráneas resultantes de la construcción y operación del dique de colas de Lama, incluyendo los caudales de los sub-drenes, los caudales superficiales desviados, y el nivel freático del acuífero debajo del revestimiento de la instalación (Jones, 2001b).

1.3 Resumen de los Cambios al Modelo 2002

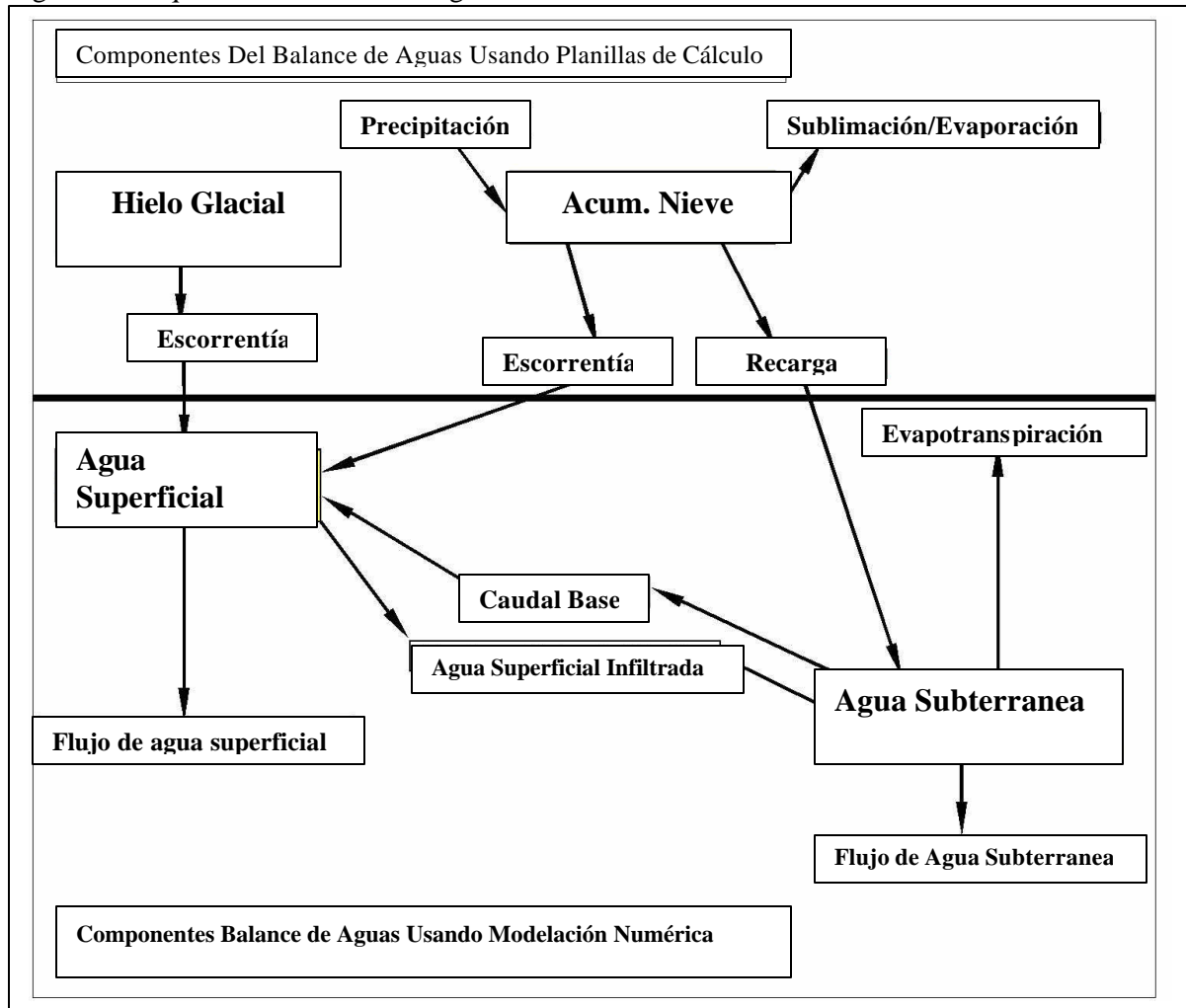
El periodo de calibración para el modelo fue extendido en dos años hasta abril de 2004. Se utilizaron datos actualizados y corregidos de precipitación para generar datos de entrada para el modelo. Se reevaluó la calibración del modelo, considerando los nuevos datos de niveles y caudales de agua recolectados desde 2002. Los datos nuevos más relevantes incluyen los caudales medidos durante el escurrimiento de El Niño correspondiente a 2002-2003, que fue el primer año en que se produjo El Niño desde que comenzó el monitoreo del Las Taguas Superior. La calibración dio como resultado la introducción de varias mejoras al modelo, las cuales se detallan a continuación:

- Se descubrió que el modelo sobreestima la tasa o velocidad de derretimiento bajo condiciones de un alto manto de nieve, dando como resultado un escurrimiento simulado de menor duración que el efectivamente observado. El modelo fue corregido reduciendo a la mitad el potencial de derretimiento estimado por el modelo desde noviembre hasta marzo.
- Se descubrió que el derretimiento simulado de glaciares del mes de marzo era superior a lo observado. Se redujo el derretimiento simulado de glaciares del mes de marzo.
- Se descubrió que el modelo simula caudales superiores a los observados para el escurrimiento de El Niño de diciembre de 2002. El modelo fue corregido simulando un nivel mayor de evaporación para diciembre.
- Los patrones simulados de recarga fueron ajustados para igualar los niveles de agua medidos. La proporción de recarga asignada a las áreas de bloque de montaña fue reducida, ya que la recarga total se mantuvo constante, para asegurar que los niveles freáticos de acuíferos simulados estuvieran por debajo de la superficie de la tierra.
- La relación simulada entre el escurrimiento y el derretimiento de nieve total para la cuenca de Los Despoblados fue incrementada de 0,1 a 0,3, para igualar los caudales pico y la recesión del caudal base observados en la estación SW-2. La relación entre el escurrimiento y el derretimiento de nieve total simulada para la cuenca de Las Taguas Inferior fue disminuida de 0,2 a 0,1 para igualar los caudales picos y la recesión del caudal base observados en las estaciones LA-14a, SW-9 y SW-17.

2.0 ESTRUCTURA Y DESARROLLO DEL MODELO

El modelo hidrológico consiste en una serie de balances de aguas basados en planillas de cálculos, acompañados por un modelo numérico del sistema de aguas superficiales y subterráneas. La Figura 2.1. presenta un esquema de la interrelación de los componentes del balance de aguas.

Figura 2.1 Esquema del Balance de Aguas



Para cada cuenca se lleva un balance de aguas del manto de nieve. Este balance de aguas registra la precipitación y la acumulación, sublimación y derretimiento de nieve. Los componentes del derretimiento, el escurrimiento y la recarga son utilizados como datos de entrada para el modelo numérico.

El modelo numérico calcula el caudal y el almacenamiento dentro del sistema de aguas superficiales y subterráneas. Los resultados del modelo numérico fueron reunidos en un balance de aguas superficiales y un balance de aguas subterráneas por cada cuenca.

2.1 Balance de Aguas del Manto de Nieve

El escurrimiento de aguas superficiales y la recarga de aguas subterráneas son estimados usando un modelo de planillas de cálculos para la acumulación de nieve, sublimación y derretimiento de nieve. La interrelación entre manto de nieve, sublimación y derretimiento de nieve está representada por la ecuación (1):

$$S_k = S_{k-1} + P_k - E_k - M_k \quad (1)$$

Donde:

- S_k = almacenamiento de manto de nieve, mes k
- P_k = precipitación
- E_k = sublimación
- M_k = derretimiento de nieve y/ o exceso de lluvia. M_k se divide entre componentes de escurrimiento y de recarga, que ingresan a los sistemas de aguas superficiales y aguas subterráneas, respectivamente.

A continuación se presenta una descripción de cada componente de la ecuación de manto de nieve: precipitación, derretimiento de nieve y sublimación.

2.1.1 Precipitación

La precipitación en el área de estudio ocurre en su gran mayoría en forma de nieve, y el aporte del agua de lluvia al balance hídrico en el área de estudio se considera insignificante.

A raíz de la escasa información a largo plazo sobre la precipitación en el área del proyecto, la precipitación para las cuencas de dicha área fue estimada sobre la base de una correlación realizada con los valores medidos en la estación meteorológica de la Mina El Indio en Chile (WMC, 2002).

Para la calibración del año 2004, se incorporó al modelo un registro actualizado de la precipitación en El Indio (Golder 2004). En base a una reevaluación más detallada de los datos de nieve y lluvia, se revisaron los datos nuevos del 2003, como así también los datos previamente existentes. La Tabla 2.1 presenta la precipitación medida en El Indio y la precipitación estimada para las cuencas del área de estudio.

Tabla 2.1 Precipitación Medida y Estimada

	<u>Measured Precipitation (mm)</u>	<u>Estimated Precipitation By Basin (mm)</u>						
	<u>El Indio</u>	<u>Upper</u>	<u>Despobla</u>	<u>Guanaco</u>		<u>Canito -</u>		<u>Lower</u>
		<u>Taguas</u>	<u>dos</u>	<u>Zonzo</u>	<u>Potreriillos</u>	<u>Turbio</u>	<u>Amarillos</u>	<u>Taguas</u>
May-99	9.9	11.6	11.3	11.1	11.1	11.1	10.9	9.9
Jun-99	11.6	13.5	13.2	13.0	13.0	13.0	12.7	11.6
Jul-99	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
Aug-99	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sep-99	24.6	28.8	28.0	27.6	27.6	27.6	27.1	24.6
Oct-99	18.5	21.7	21.1	20.7	20.7	20.7	20.4	18.5
Nov-99	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dec-99	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jan-00	2.5	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.5
Feb-00	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
Mar-00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Apr-00	10.3	12.0	11.7	11.5	11.5	11.5	11.3	10.3
May-00	15.1	17.7	17.2	16.9	16.9	16.9	16.6	15.1
Jun-00	53.3	62.4	60.8	59.7	59.7	59.7	58.6	53.3
Jul-00	41.4	48.5	47.2	46.4	46.4	46.4	45.6	41.4
Aug-00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sep-00	10.3	12.0	11.7	11.5	11.5	11.5	11.3	10.3
Oct-00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nov-00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dec-00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jan-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb-01	4.5	5.3	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5
Mar-01	10.2	11.9	11.6	11.4	11.4	11.4	11.2	10.2
Apr-01	13.7	16.1	15.6	15.4	15.4	15.4	15.1	13.7
May-01	13.7	16.1	15.6	15.4	15.4	15.4	15.1	13.7
Jun-01	7.2	8.4	8.2	8.1	8.1	8.1	7.9	7.2
Jul-01	40.5	47.4	46.2	45.4	45.4	45.4	44.5	40.5
Aug-01	46.0	53.8	52.4	51.5	51.5	51.5	50.6	46.0
Sep-01	8.2	9.6	9.4	9.2	9.2	9.2	9.1	8.2
Oct-01	6.9	8.0	7.8	7.7	7.7	7.7	7.6	6.9
Nov-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dec-01	4.8	5.6	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	4.8
Jan-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mar-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Apr-02	4.7	5.5	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	4.7
May-02	126.3	147.7	143.9	141.4	141.4	141.4	138.9	126.3
Jun-02	43.6	51.0	49.7	48.8	48.8	48.8	47.9	43.6
Jul-02	187.5	219.3	213.7	209.9	209.9	209.9	206.2	187.5
Aug-02	41.9	49.0	47.8	46.9	46.9	46.9	46.1	41.9
Sep-02	21.0	24.5	23.9	23.5	23.5	23.5	23.0	21.0
Oct-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nov-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dec-02	1.5	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.5
Jan-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb-03	2.0	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.0
Mar-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Apr-03	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
May-03	37.5	43.9	42.8	42.0	42.0	42.0	41.3	37.5
Jun-03	10.3	12.0	11.7	11.5	11.5	11.5	11.3	10.3
Jul-03	35.7	41.8	40.7	40.0	40.0	40.0	39.3	35.7
Aug-03	9.7	11.3	11.0	10.8	10.8	10.8	10.7	9.7
Sep-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Oct-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nov-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dec-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jan-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb-04	2.0	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.0
Mar-04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Apr-04	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
Annual Average, May 1999 - April 2004	176	206	201	197	197	197	194	176

2.1.2 Sublimación

La sublimación se define como la evaporación de nieve. La sublimación fue estimada como una parte de la evaporación potencial, limitada por el agua disponible, siguiendo la ecuación (2):

$$E_k = \min\{k_1*(E_{pot_k}), (S_{k-1} + P_k)\} \quad (2)$$

Donde:

- E_{pot_k} es la evaporación potencial para el mes k .
- k_1 , con $0 < k_1 \leq 1$, es un parámetro empírico para cada cuenca, que da cuenta de factores tales como la elevación y la cantidad de áreas sombreadas y/ o resguardadas del viento.
- $(S_{k-1} + P_k)$ expresa el agua disponible para la sublimación.

La evaporación potencial fue estimada en base a un tanque de evaporación y otros parámetros meteorológicos (WMC, 2002) y los datos correspondientes se presentan resumidos en la Tabla 2.2. Se asume que la evaporación potencial mensual es la misma año tras año.

Los valores de k_1 fueron estimados durante la calibración del modelo y se presentan en la Tabla 2.3. Los valores de k_1 se basaron en la comparación de las entradas y salidas de agua de las cuencas, en lugar de basarse sobre algún modelo de sublimación específico para el sitio. Los valores representan promedios que comprenden toda la cuenca, abarcando un amplio rango de elevaciones y niveles de exposición al sol y viento.

2.1.3 Derretimiento de Nieve

Se estima que el derretimiento de nieve corresponde a una parte del derretimiento potencial, limitado por el agua disponible, como se muestra en la ecuación (3):

$$M_k = \min\{k_2*M_{max_k}, (S_{k-1} + P_k - E_k)\} \quad (3)$$

Donde:

- k_2 , con $0 < k_2 < 1$ es un parámetro empírico para cada cuenca, que considera factores tales como la altura y la cantidad de áreas sombreadas y/ o resguardadas del viento.
- M_{max_k} es el derretimiento potencial.
- $(S_{k-1} + P_k - E_k)$ expresa el total de agua disponible para el mes k

El derretimiento potencial fue estimado originalmente sobre la base de temperaturas, radiación solar, cobertura de nubes y albedo, utilizando también los patrones de derretimiento de nieve observados en el área de estudio (WMC, 2002). Se asumió que el potencial de derretimiento mensual es el mismo año tras año.

Al simular el escurrimiento de El Niño correspondiente a 2002-2003, se descubrió que el modelo sobreestima la tasa de derretimiento correspondiente a un manto de nieve alto, dando como resultado un escurrimiento simulado de duración menor a lo observado. El modelo fue corregido reduciendo a la mitad el derretimiento potencial estimado en el modelo desde noviembre hasta marzo. La Tabla 2.2 muestra el derretimiento potencial simulado.

Los valores de k2 fueron estimados durante la calibración del modelo y se presentan en la Tabla 2.3. Los valores de k2 se basaron en la comparación de las entradas y salidas de agua de las cuencas, en lugar de basarse sobre algún modelo de derretimiento de nieve específico para el sitio. Los valores representan promedios que comprenden toda la cuenca, abarcando un amplio rango de elevaciones y de niveles de exposición al sol y viento.

El derretimiento de nieve se divide entre componentes de escurrimiento (aporte a aguas superficiales) y recarga (aporte a aguas subterráneas). Inicialmente se asumió que el derretimiento de nieve era un 20% de escurrimiento y un 80% de recarga. Este concepto se basó en el predominio de material superficial suelto y permeable, en la relación entre caudales de invierno y primavera, y en la hipótesis de que una cantidad significativa de derretimiento de nieve recarga la capa freática por medio de canales de cursos de agua menores no representados en el balance de aguas superficiales. Las proporciones de escurrimiento fueron ajustadas durante la calibración del modelo. La Tabla 2.3 presenta la proporción de escurrimiento para cada cuenca.

Tabla 2.2. Evaporación Potencial y Derretimiento Potencial

Mes	Evaporación Potencial	Derretimiento Potencial
Mayo	78	0
Junio	61	0
Julio	55	0
Agosto	70	0
Septiembre	100	122
Octubre	117	527
Noviembre	160	535
Diciembre	156	738
Enero	178	789
Febrero	132	650
Marzo	156	539
Abril	95	205
Anual	1358	4105

Tabla 2.3. Parámetros para el balance de aguas de manto de nieve.

Cuenca	Coeficiente de Sublimación	Coeficiente de Derretimiento	Relación Escorrentía Derretimiento
	(k1)	(k2)	
Taguas Superiores	0,160	0,200	0,200
Despoblados	0,110	0,200	0,300
Guanaco Zonzo	0,160	0,200	0,200
Potrerillos	0,185	0,200	0,400
Canito	0,030	0,200	0,000
Arroyo Turbio	0,126	0,200	0,200
Rio Turbio	0,100	0,200	0,200
Amarillos	0,104	0,200	0,100
Taguas Inferiores	0,300	0,200	0,100

2.2 Modelo Numérico

Los balances de aguas superficiales y subterráneas son cuantificados y reconciliados utilizando el modelo numérico que se presenta a continuación. Los datos correspondientes a los escurrimientos y las recargas derivados del balance de aguas de manto de nieve son cargados al modelo numérico. El modelo posteriormente es utilizado para representar los siguientes componentes del sistema hidrológico:

- El caudal de aguas subterráneas dentro del área de estudio.
- El escurrimiento de aguas superficiales, el caudal de aguas superficiales y la interacción entre aguas subterráneas y aguas superficiales.
- La recarga de aguas subterráneas.
- La evapotranspiración de aguas subterráneas.
- El caudal de aguas subterráneas que sale del área de estudio.

El programa computacional utilizado para el modelo numérico es una versión del modelo U.S. Geological Survey Modular Three-Dimensional Finite Difference Ground-Water Flow Model (Modelo Tri-Dimensional Modular del Caudal de Aguas Subterráneas de Diferencia Finita de los Estudios Topográficos Geológicos de los Estados Unidos), MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988). Las modificaciones introducidas al programa MODFLOW original están documentadas en Jones (1998^a, 1998b, 1999). Los datos ingresados al modelo incluyen (1) parámetros hidráulicos que controlan el caudal de agua dentro del dominio del modelo y (2) las condiciones límites que controlan la incorporación de agua al dominio del modelo y la eliminación de agua del mismo.

El caudal de aguas subterráneas dentro del área de estudio fue representado en el modelo utilizando el módulo de Block Centered Flow-BCF (Bloque de Flujo Central BFC) (McDonald y Harbaugh, 1988).

El BCF utiliza un algoritmo de diferencia finita para resolver las ecuaciones del caudal de aguas subterráneas. Los datos ingresados al BCF corresponden a los parámetros del acuífero incluyendo conductividad y/ o transmisividad hidráulica, el rendimiento específico y/ o el coeficiente de almacenamiento y anisotropía vertical.

El escurrimiento de aguas superficiales, el caudal de aguas superficiales y la interacción entre aguas superficiales y aguas subterráneas fueron representados en el modelo usando el módulo Rivers 2 (Ríos 2) (RIV2) (Miller, 1989 y Jones, 1998a). La red de cursos de agua en el área de estudio está representada como una serie de nodos de ríos, agrupados en tramos. Los tramos están unidos entre sí siguiendo un ordenamiento aguas abajo. Los parámetros especificados de los nodos de ríos son: la elevación de los cursos de agua, la conductancia del lecho o álveo de los cursos de aguas y el índice máximo de infiltración del lecho de los cursos de agua. Se estima el escurrimiento a cada tramo del río en el balance hídrico del manto de nieve descrito anteriormente, y luego se ingresa dicho dato dentro del modelo numérico.

La recarga de aguas subterráneas fue representada en el modelo usando el módulo Recharge (Recarga) (RCH) (McDonald y Harbaugh, 1988). La recarga de aguas subterráneas incluye infiltración directa de precipitación y derretimiento, al igual que el escurrimiento que se infiltra a las aguas subterráneas a través de canales de cursos de agua menores no representados en el modelo. En el balance de aguas del manto de nieve descrito anteriormente se estima la cantidad de recarga, y luego se ingresa el dato dentro del modelo numérico.

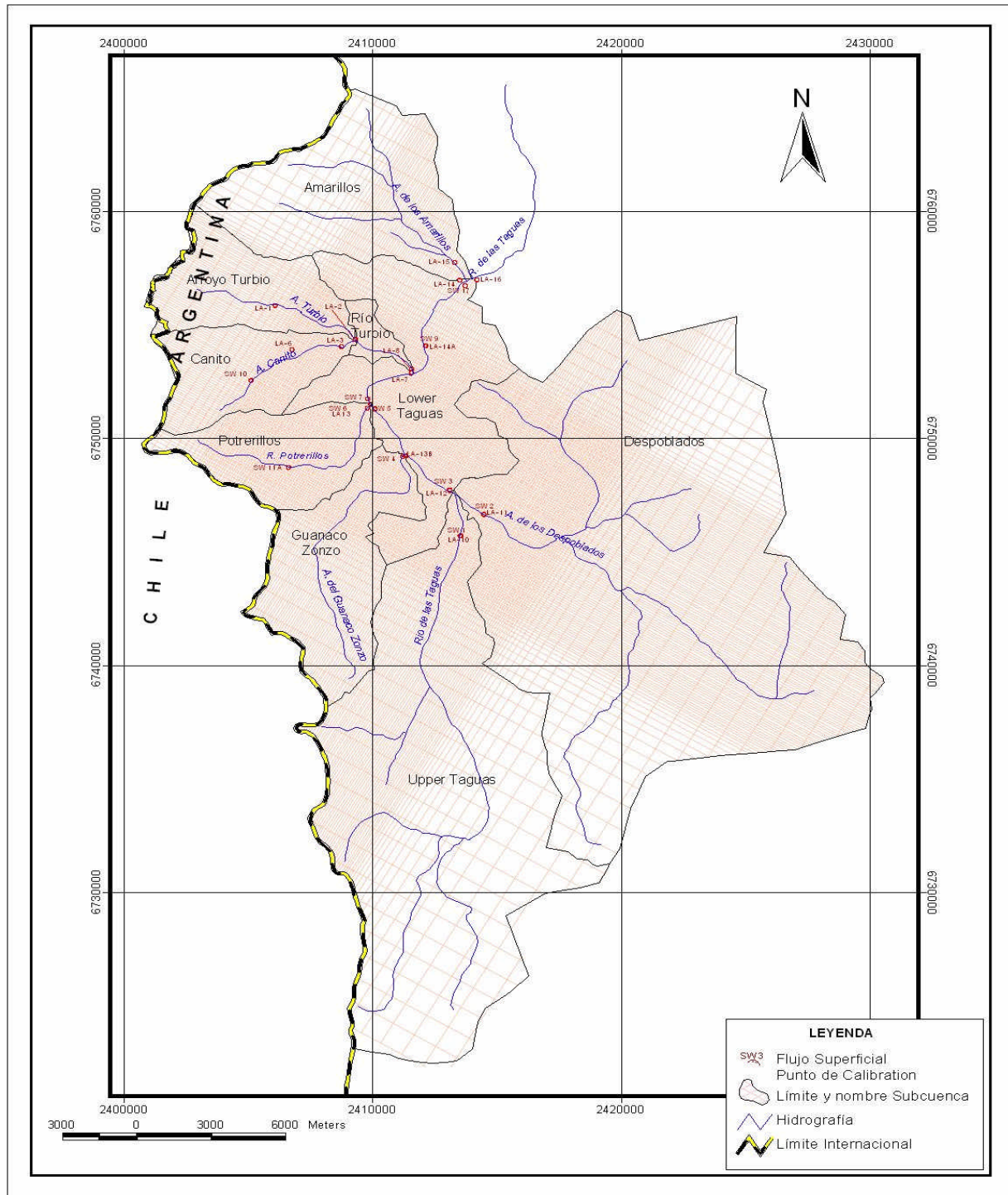
La evapotranspiración (ET) de aguas subterráneas de vegas y de otras áreas de aguas subterráneas poco profundas se representa en el modelo utilizando el módulo Evapotranspiration (Evapotranspiración) (EVT) (McDonald y Harbaugh, 1988). La ET simulada es proporcional a la distancia del nivel freático por debajo de la superficie del suelo. Cuando el nivel de agua subterránea se encuentra al nivel de la

superficie del terreno o por encima del mismo, la ET se establece a un índice máximo. Cuando el nivel de aguas subterráneas está por debajo de la superficie del terreno, la ET disminuye en forma lineal hasta alcanzar un valor de cero en la profundidad de extinción. Cuando el nivel de aguas subterráneas está por debajo de la profundidad de extinción, la ET es cero. Los parámetros ingresados incluyen la superficie de ET, el índice máximo de ET y la profundidad de extinción para cada nodo de EVT.

El caudal de aguas subterráneas que sale del área de estudio fue representado en el modelo utilizando el módulo General Head Boundaries (GHB) (Carga General de Borde) (McDonald y Harbaugh, 1988), que simula las condiciones límite dependientes del nivel freático. La salida de aguas subterráneas del área de estudio se produce en el acuífero aluvial a lo largo del Río de las Taguas cerca de LA-16. Las especificaciones del GHB incluyen las condiciones límite para la carga hidráulica y la conductancia para cada nodo del GHB.

Los procesos hidráulicos en el área de estudio son representados utilizando una grilla de celdas rectangulares como se muestra en la Figura 2.2. La grilla esta ordenada en 132 filas, 179 columnas y cuatro (4) capas. Las dimensiones de las celdas horizontales oscilan entre los 100m cerca de las instalaciones de la mina hasta los 1000m en las áreas más periféricas. Las dimensiones verticales de la grilla oscilan entre los diez metros (10) hasta varios cientos de metros sobre el dominio del modelo.

Figure 2.2 Grilla del Modelo



2.2.1 Características del Caudal de Aguas Subterráneas y del Acuífero

Cuatro unidades hidrogeológicas distintivas fueron identificadas en el área de estudio según la descripción que presenta WMC (2002):

(1) Aluvio de alta permeabilidad

El caudal de aguas subterráneas en el área de estudio se concentra en valles aluviales estrechos emplazados entre altas montañas. Los resultados de los ensayos del acuífero en los valles del Turbio, Taguas y Amarillos indican una transmisividad que va desde 100 hasta varios miles de $\text{m}^2/\text{día}$.

(2) Aluvio de baja permeabilidad

Se encuentran sedimentos de baja permeabilidad en las morrenas a lo largo de algunos de los márgenes de los valles. El nivel de agua freática en las morrenas se encuentra a profundidad, en sedimentos más consolidados. Un ejemplo está dado por la morrena a lo largo del lado norte del valle del Turbio Inferior. Los resultados de los ensayos del acuífero en las morrenas indican una transmisividad que oscila desde 15 hasta 32 $\text{m}^2/\text{día}$.

(3) Lecho de roca de baja permeabilidad

Una permeabilidad muy baja caracteriza el basamento rocoso de bloque de montaña. Las perforaciones de exploración para los proyectos de Veladero y Filo Norte encontraron poca agua subterránea. Apparently, el flujo de aguas subterráneas a través de los bloques de montaña sería escaso a nulo.

(4) Lecho de roca permeable

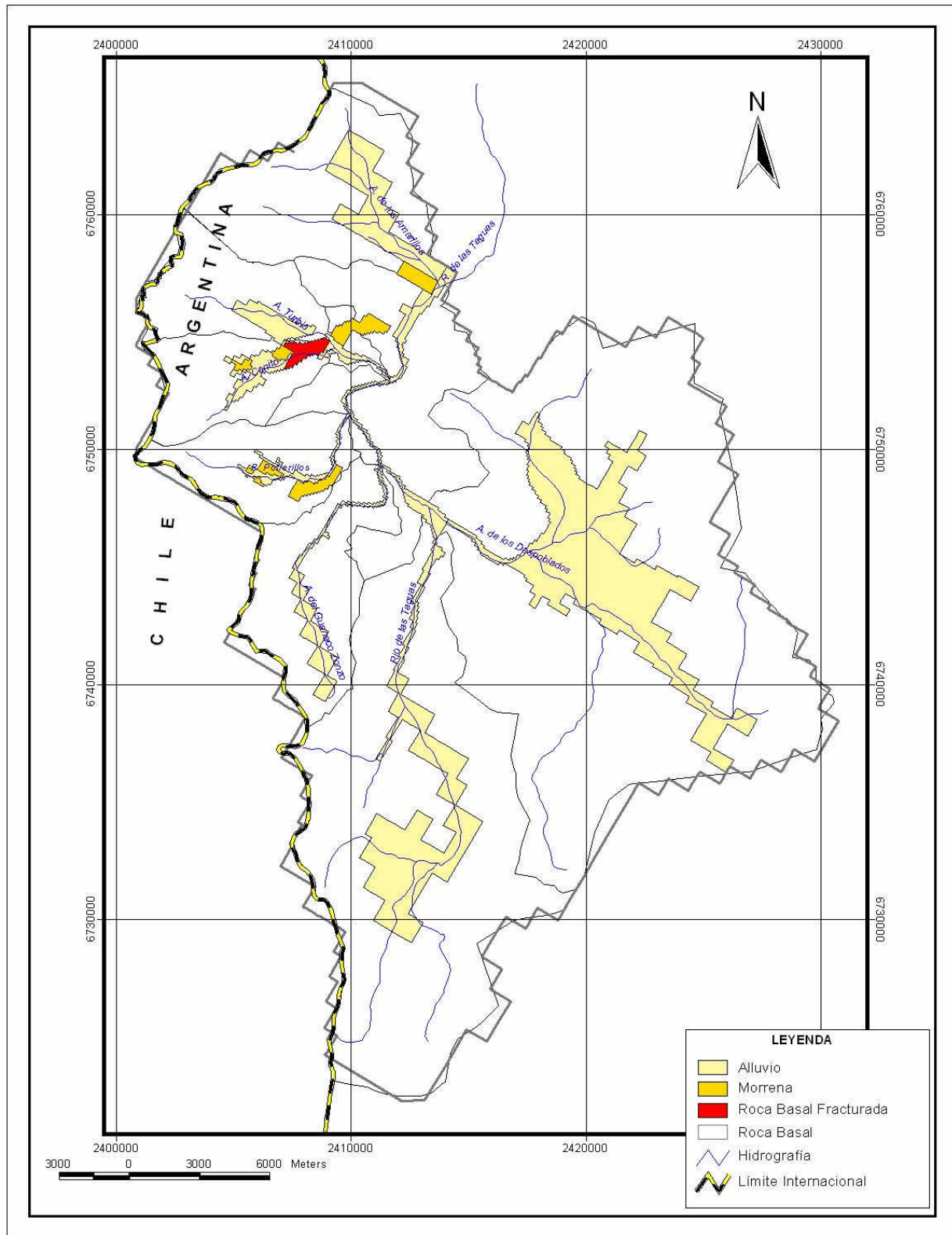
Los lugares tales como el valle del Canito Inferior están caracterizados por la presencia de roca fracturada, con un caudal significativo de aguas subterráneas en el lecho o basamento rocoso. Los resultados de los ensayos del acuífero en el lecho de roca del Canito indican una transmisividad entre 56 y 144 $\text{m}^2/\text{día}$.

Se identificaron distintas zonas en base a los resultados de las perforaciones y de los ensayos del acuífero (WMC, 2002) y en los siguientes mapas geológicos:

- “Geology of the Arroyo de los Despoblados Basin” (WMC, 16 July 2001)
- “Surface Geologic Conditions Map” (Golder, 7 May 2002)
- Turbio Geology map (SRK, 19 July 2000)
- Barrick Geomorphology map (Barrick, June 2002)

La Figura 2.3. presenta las zonas hidrogeológicas que contienen cada una de las cuatro unidades identificadas.

Figura 2.3 Zonas Hidrogeológicas de la Capa 1



Los parámetros acuíferos requeridos para el modelo incluyen transmisividad, anisotropía vertical a horizontal, coeficiente de almacenamiento y rendimiento específico. Los parámetros acuíferos asignados a cada zona hidrogeológica están presentados en la Tabla 2.4.

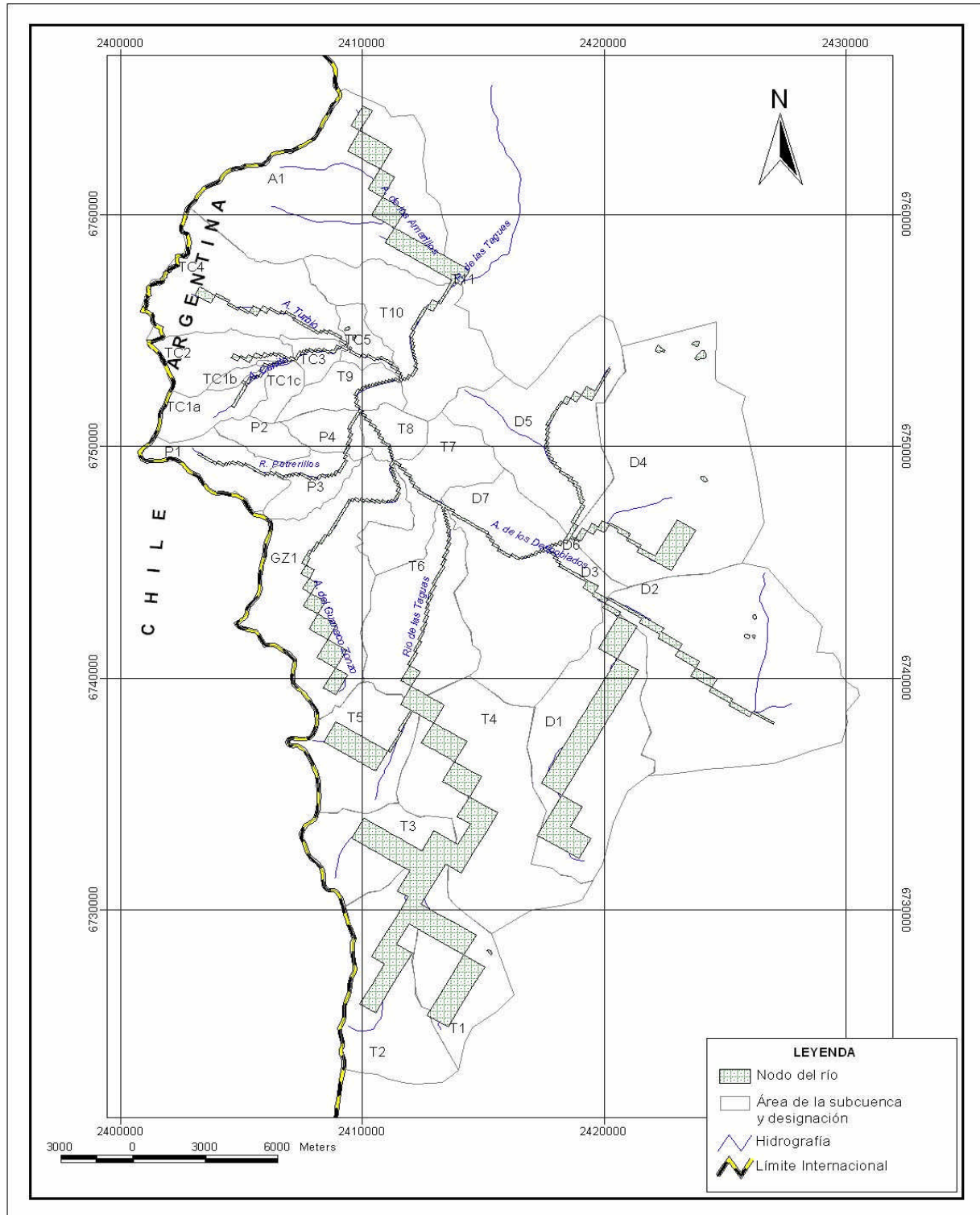
Tabla 2.4 Parámetros acuíferos

Zona	Nombre	Unidad Hidrogeológica	Transmisividad (m ² /dy)	Espesor Saturado (m)	Conductividad Hidráulica (cm/s)	Anisotropía Vertical ()	Rendimiento Específico ()	Coefficiente de Almacenamiento ()
<u>Capa 1</u>								
1	Roca de baja Permeabilidad	Roca	0,02	20	1,20E-06	0,05	0,001	
2	Aluvial Turbio/canito	Aluvial	120	20	6,90E-03	0,1	0,1	
3	Potreriños	Aluvial	20	20	1,20E-03	0,1	0,1	
4	Aluvial Taguas	Aluvial	200	20	1,20E-02	0,1	0,1	
5	Roca Turbio/canito	Roca fracturada	20	20	1,20E-03	0,1	0,01	
6	Morena Turbio	Aluvial	20	20	1,20E-03	0,1	0,1	
7	Amarillos	Aluvial	20	20	1,20E-03	0,1	0,1	
8	Taguas Superior	Aluvial	200	20	1,20E-02	0,1	0,1	
9	Despoblados	Aluvial	200	20	1,20E-02	0,1	0,1	
10	Guanaco Zonzo	Aluvial	100	20	5,80E-03	0,1	0,1	
<u>Capa 2</u>								
1	Roca de baja Permeabilidad	Roca	0,03	30	1,20E-06	0,05	0,01	0,0001
2	Aluvial Turbio/canito	Aluvial	30	30	1,20E-03	0,1	0,2	0,0001
3	Potreriños	Aluvial	30	30	1,20E-03	0,1	0,2	0,0001
4	Aluvial Taguas	Aluvial	300	30	1,20E-02	0,1	0,2	0,0001
5	Roca Turbio/canito	Roca fracturada	30	30	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
6	Morena Turbio	Roca	3	30	1,20E-04	0,1	0,1	0,0001
7	Amarillos	Aluvial	30	30	1,20E-03	0,1	0,2	0,0001
8	Taguas Superior	Aluvial	300	30	1,20E-02	0,1	0,2	0,0001
9	Despoblados	Aluvial	300	30	1,20E-02	0,1	0,2	0,0001
10	Guanaco Zonzo	Aluvial	99,99	30	3,90E-03	0,1	0,2	0,0001
<u>Capa 3</u>								
1	Roca de baja Permeabilidad	Roca	0,05	50	1,20E-06	0,05	0,01	0,0001
2	Aluvial Turbio/canito	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
3	Potreriños	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
4	Aluvial Taguas	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
5	Roca Turbio/canito	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
6	Morena Turbio	Roca	5	50	1,20E-04	0,1	0,01	0,0001
7	Amarillos	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
8	Taguas Superior	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
9	Despoblados	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
10	Guanaco Zonzo	Roca fracturada	50	50	1,20E-03	0,1	0,01	0,0001
<u>Capa 4</u>								
1	Roca de baja Permeabilidad	Roca	0,10	100	1,20E-06	0,05		0,0002
2	Aluvial Turbio/canito	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
3	Potreriños	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
4	Aluvial Taguas	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
5	Roca Turbio/canito	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
6	Morena Turbio	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
7	Amarillos	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
8	Taguas Superior	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
9	Despoblados	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002
10	Guanaco Zonzo	Roca	10	100	1,20E-04	0,1		0,0002

2.2.2 Caudal de Aguas Superficiales e Interacción entre Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas

Las cuencas en el área del estudio están divididas en 31 tramos y están representadas en el modelo utilizando 940 nodos de ríos como se muestra en la Figura 2.4.

Figura 2.4. Tramos de ríos y Nodos



Los tramos de los ríos detallados en la Figura 2.4 se presentan en la Tabla 2.5. Se calcula la entrada a cada tramo como la suma de escurrimiento hacia el tramo, la cual se estima usando el balance hídrico del manto de nieve, y el caudal proveniente de tramos de los cursos aguas arriba. Se calcula la ganancia o pérdida de caudal correspondiente al tramo como la suma del caudal de aguas subterráneas hacia y desde el curso de agua para cada nodo del río en el tramo. El caudal de salida desde el tramo se aplica como caudal de entrada al tramo aguas abajo.

Tabla 2.5. Tramos de ríos

<u>Designación del Tramo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Area Cuenca (km2)</u>	<u>Flujo Aguas Abajo</u>	<u>Número de Nodos</u>	<u>Conductancia Por Nodo (m3/dy/m)</u>	<u>Flujo Hacia Glaciar</u>
D1	Banos despoblados sur	39,9	D3	48	2,0	
D2	Banos despoblados este	64,4	D3	21	2,0	
D3	Banos despoblados	0,0	D7	15	2,0	
D4	Despoblados este	61,2	D6	40	2,0	
D5	Despoblados norte	34,0	D6	75	2,0	
D6	Arroyo Despoblados 1	0,0	D7	9	2,0	
D7	Arroyo Despoblados 2	43,3	T7	48	2,0	
T1	Taguas 1	19,7	T4	8	2,0	
T2	Cecilia María - Taguas 2	28,1	T4	8	2,0	
T3	Cecilia María	16,6	T4	17	2,0	
T4	Taguas	46,0	T6	28	2,0	
T5	Arroyo Veladero	19,0	T6	28	2,0	
T6	Taguas	25,5	T7	56	2,0	
T7	Taguas	15,7	T8	27	2,0	
GZ1	Guanaco Zonzo	39,1	T8	95	2,0	
T8	Taguas	5,3	T9	23	2,0	
P1	Potreros Superior	9,7	P3	31	1,0	
P2	Potreros Inferior	4,5	P3	32	1,0	
P3	Potreros Medio	7,1	P4	34	1,0	
P4	Potreros Inferior	5,2	T9	20	1,0	
T9	Taguas	7,8	T10	22	2,0	
TC1a	Canito Sur	7,4	TC1c	27	0,1/2,0 ¹	SI
TC1b	Canito Medio	1,1	TC1c	13	2,0	
TC1c	Canito Sur inferior	3,6	TC3	9	2,0	
TC2	Canito Norte	9,6	TC3	21	2,0	SI
TC3	Canito inferior	3,1	TC5	24	2,0	
TC4	Arroyo Turbio	26,8	TC5	44	2,0	SI
TC5	Rio Turbio	4,1	T10	26	2,0	
T10	Taguas	26,7	T11	29	2,0	
A1	Amarillos	52,0	T11	59	2,0	SI
T11	Taguas	0,0		3	2,0	

1. 0 En roca en la parte superior de la cuenca 2.0 En el fondo del valle

Los parámetros de los nodos de ríos especificados son la elevación de los cursos de agua, la conductancia de los lechos de los cursos de agua y el índice máximo de infiltración. Las elevaciones de los cursos de agua fueron estimados en base a mapas topográficos, incluyendo:

- Barrick 1:100,000 mapa base
- Barrick 1:5,000 mapa base
- Barrick Unitop2000 mapa base

La conductancia de los lechos de los cursos de agua fue asignada por tramo (Tabla 2.5), con un valor por defecto (*default value*) de $2\text{m}^3/\text{d}$ por metro de extensión del curso, perfeccionado durante la calibración del modelo. El índice máximo de infiltración al lecho de los cursos de agua fue asignado como la conductancia multiplicada por 1 metro.

2.2.3 Recarga de Aguas Subterráneas

La recarga de aguas subterráneas incluye la infiltración directa de precipitación y derretimiento, al igual que el escurrimiento que se infiltra hacia las aguas subterráneas a través de canales de cursos de agua menores que no están representados en el modelo. Los patrones de recarga de aguas subterráneas son irregulares, ya que los índices de precipitación varían de acuerdo a la ubicación y la altura, y la precipitación es redistribuida por el viento y la gravedad.

La recarga de aguas subterráneas se concentra en sitios particulares. Un ejemplo está dado por el lago ubicado sobre la morrena al norte del valle del Turbio, el cual recibe el escurrimiento del frente sureste de una cima elevada. Existen otros ejemplos en lugares en los que hay un aluvio de alta permeabilidad al pie de un talud pronunciado, como en las cuencas del Canito Superior y Turbio Superior.

Los patrones de recarga de aguas subterráneas fueron estimados en base a datos topográficos, estableciendo los índices más bajos en la cima de las montañas y los índices mas altos en el lecho de los valles. La Figura 2.5 presenta las zonas de recargas. La recarga total aplicada a cada cuenca se calcula utilizando el balance hídrico del manto de nieve descrito previamente, y distribuido en función de los índices relativos presentados en la Figura 2.5.

2.2.4 Evapotranspiración de Aguas Subterráneas

La ET de aguas subterráneas se produce desde las vegas, otras áreas de vegetación, y desde áreas sin vegetación con aguas subterráneas de poca profundidad. La evapotranspiración fue estimada en base a datos meteorológicos e imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapeo de vegas en terreno, otras áreas de vegetación y áreas de incrustaciones de evaporativa.

Para lograr una aproximación de la distribución de ET, se especificó que cada celda del río correspondía a una celda de ET, y las grandes áreas de vegas cartografiadas estaban representadas por celdas adicionales de ET (WMC, 2002). Las celdas de ET están presentadas en la Figura 2.6.

Los parámetros de ET incluyen la elevación de la superficie, el índice máximo de ET y la profundidad de extinción. La elevación de la superficie de ET fue establecida en base a información topográfica. Se estimó que el índice máximo de ET era equivalente a la evaporación potencial. Se especificó la profundidad de extinción a un (1) metro, que es un nivel poco profundo establecido en base a la ausencia de árboles y de otra vegetación de raíces profundas.

2.2.5 Salida de Aguas Subterráneas

La salida de aguas subterráneas del área de estudio se produce en el acuífero aluvial a lo largo del Río de las Taguas cerca de LA-16. La salida está dada como condición límite dependiendo de la carga hidráulica, que requiere la entrada de carga hidráulica y conductancia. La Tabla 2.6 presenta las especificaciones limite dependiente de la carga hidráulica.

Tabla 2.6 Especificaciones del Límite Dependiente de la Carga Hidráulica.

Capa	Fila	Columna	Carga de Borde (m.s.n.m)	Conductancia (m ² /dv)
1	6	67	3700	10,000
2	6	67	3700	10,000

Figura 2.5 Zonas de Recarga de Aguas subterráneas

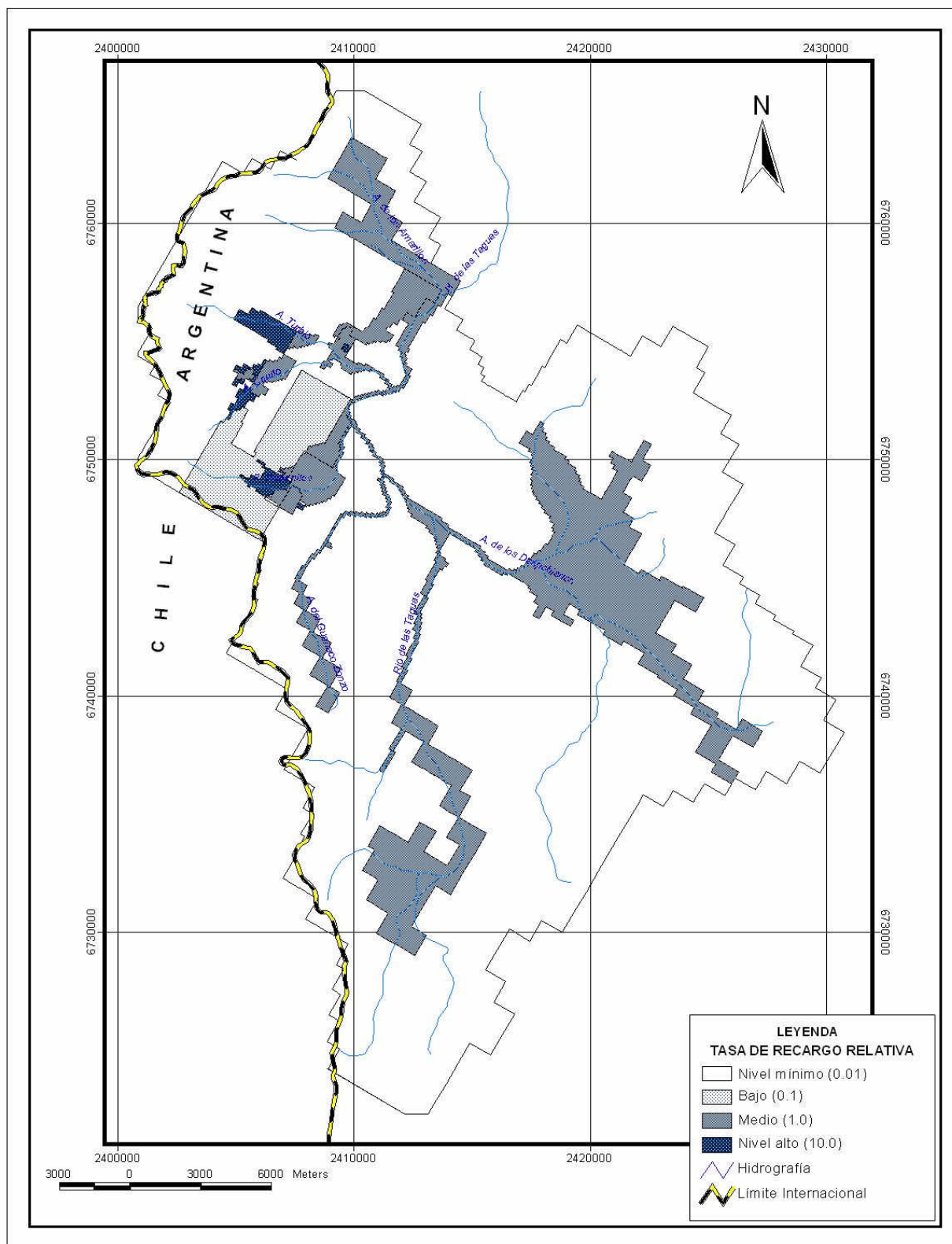
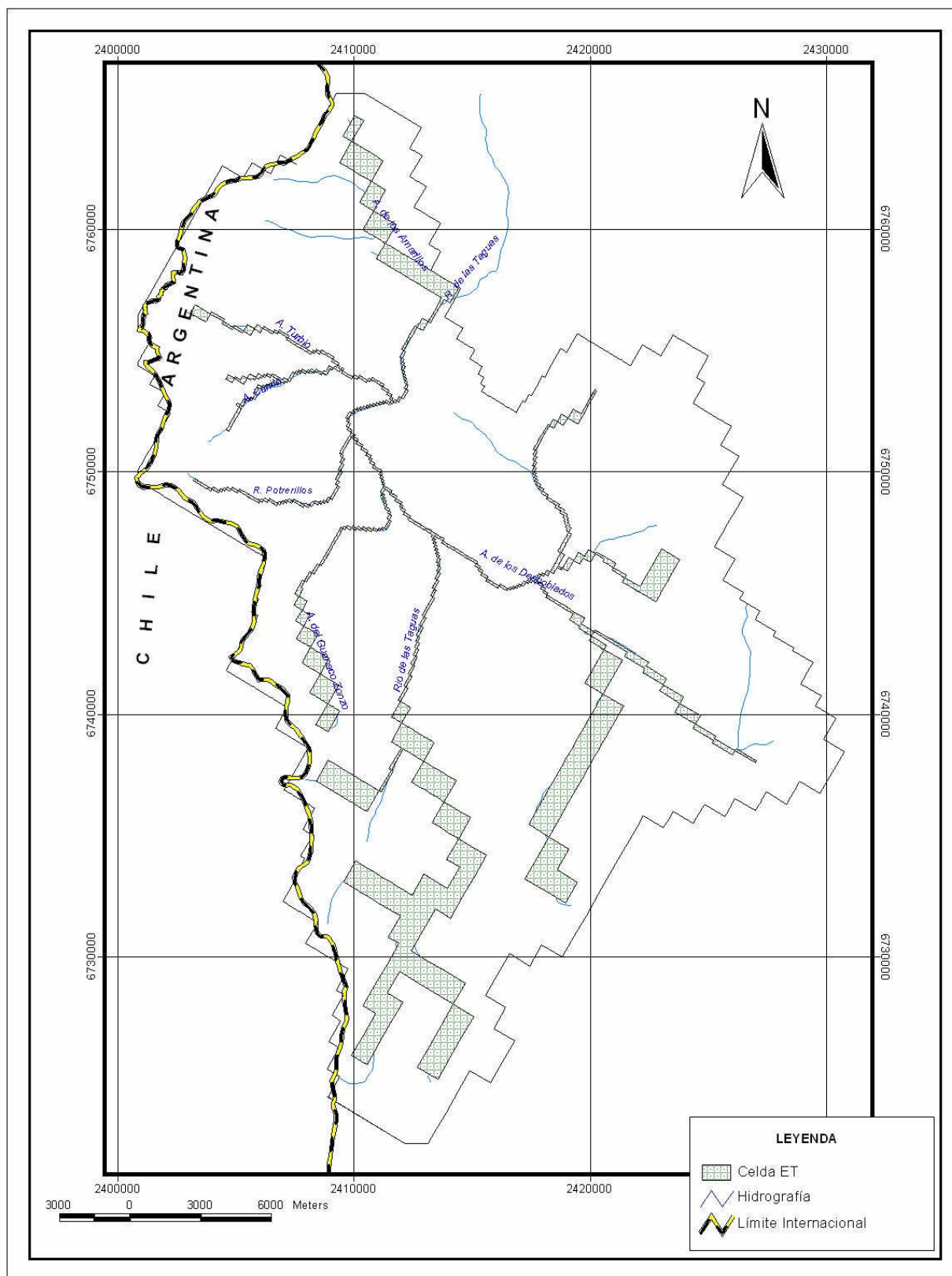


Figura 2.6 Ubicaciones de Evapotranspiración

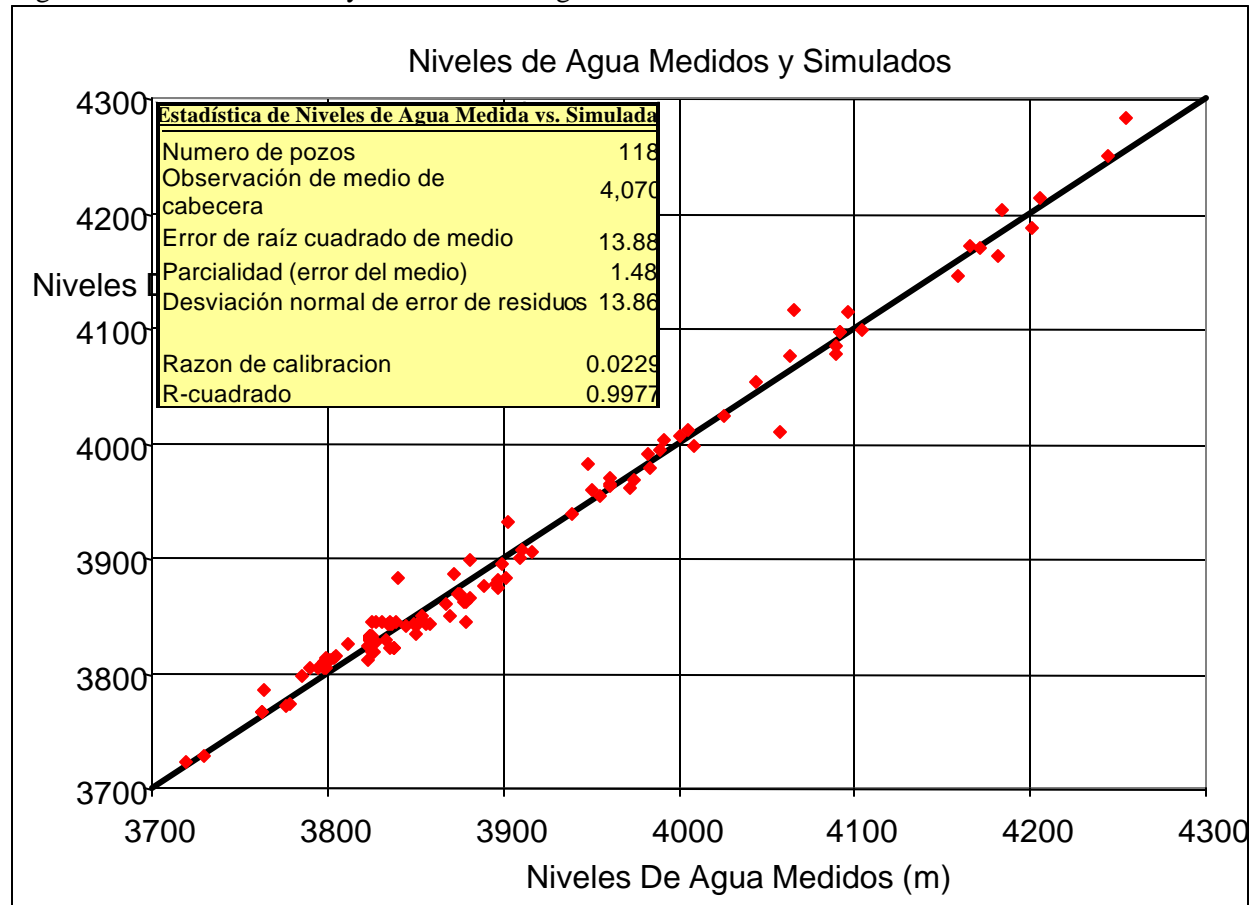


3.0 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo se basó en mediciones de niveles de aguas subterráneas y caudales superficiales.

En la Figura 3.1 se comparan los niveles medidos y simulados de aguas subterráneas. La Figura 3.2 presenta las curvas simuladas de los niveles de aguas subterráneas.

Figura 3.1 Niveles Medidos y Simulados de Aguas subterráneas.



Existe una buena correlación entre las gradientes y los niveles medidos y simulados de aguas subterráneas en el área de estudio. Aunque el modelo no está concebido para reproducir con exactitud los niveles de agua medidos punto por punto, el mismo reproduce los niveles de agua medidos con suficiente efectividad como para simular correctamente los patrones y la dirección del movimiento de las aguas subterráneas.

Además, existe una buena correlación entre los caudales medidos y simulados de los cursos de agua en 16 sitios de monitoreo dentro del área de estudio. En las Figuras 3.3a a 3.3p se presentan comparaciones de los caudales superficiales medidos y simulados.

Figura 3.2 Curvas simuladas de niveles de aguas subterráneas

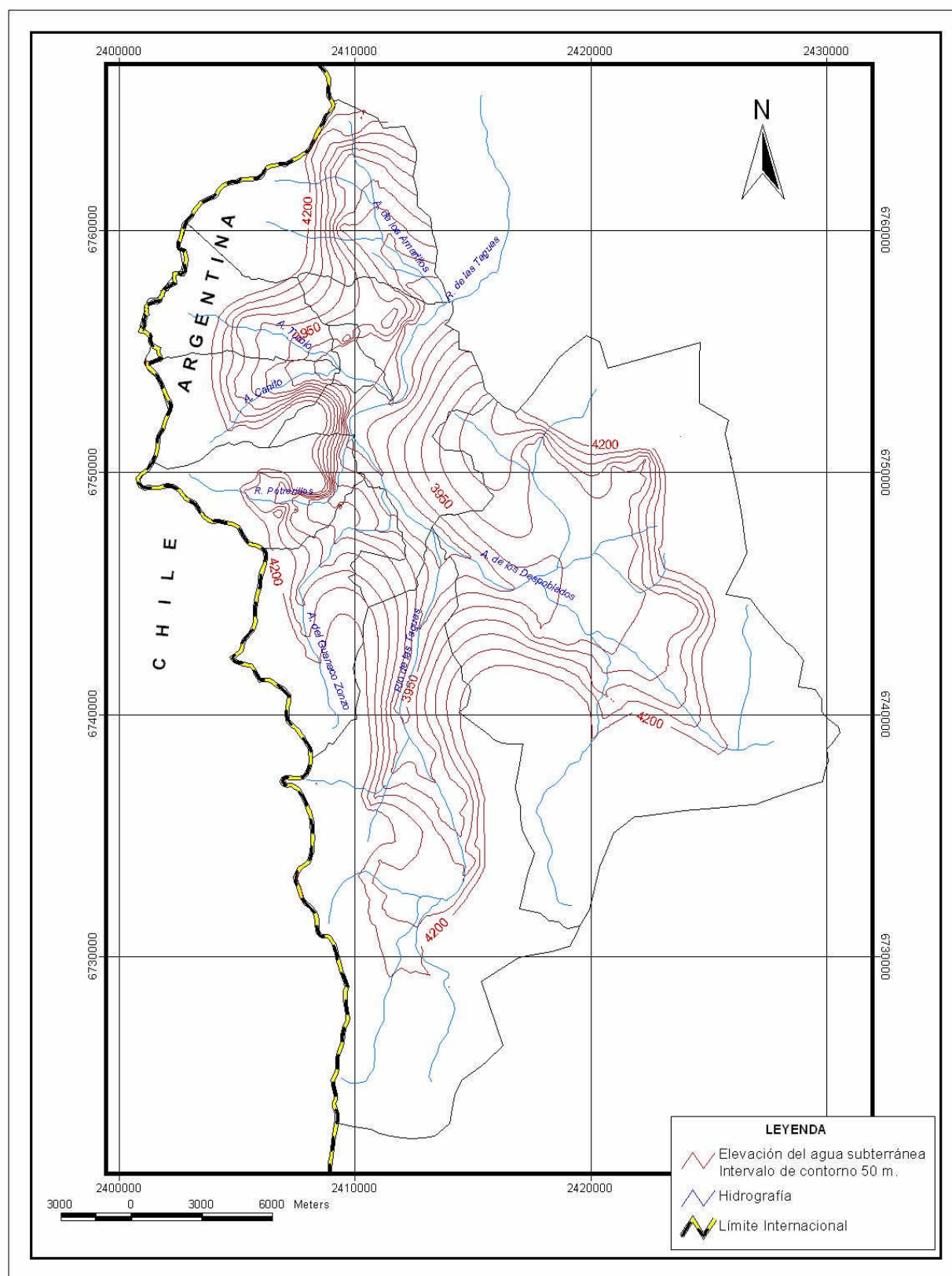


Figura 3.3a Caudal Medido y Simulado en el Tramo del Río de Las Taguas Superior

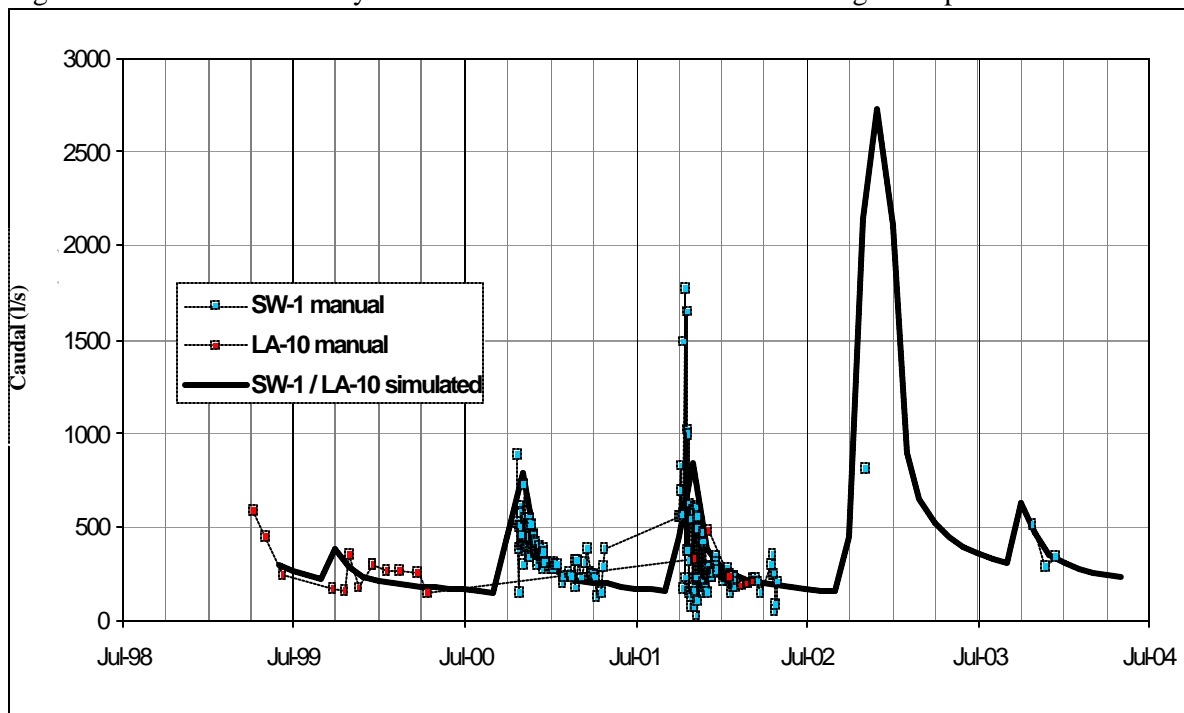


Figura 3.3b. Caudal Medido y Simulado en el Río de Los Despoblados

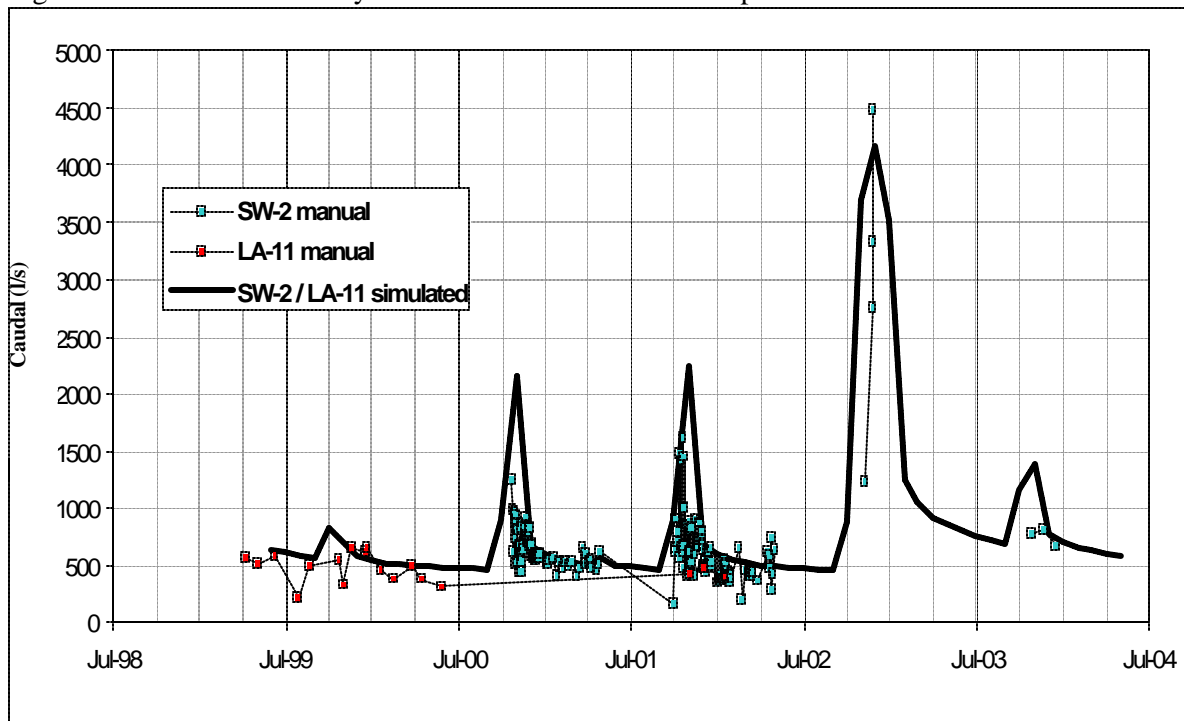


Figura 3.3c. Caudal Medido y Simulado en el Río de Las Taguas, Despoblados – Tramo de Guanaco Zonzo

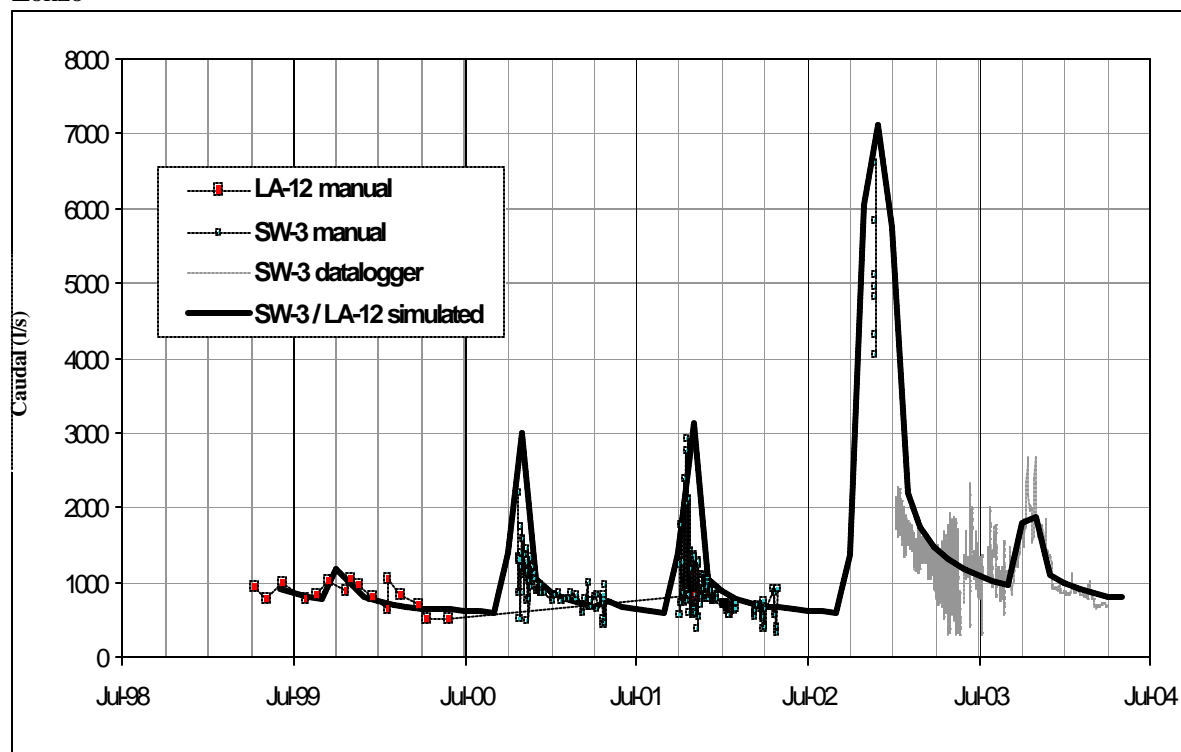


Figura 3.3d. Caudal Medido y Simulado en el Río del Guanaco Zonzo

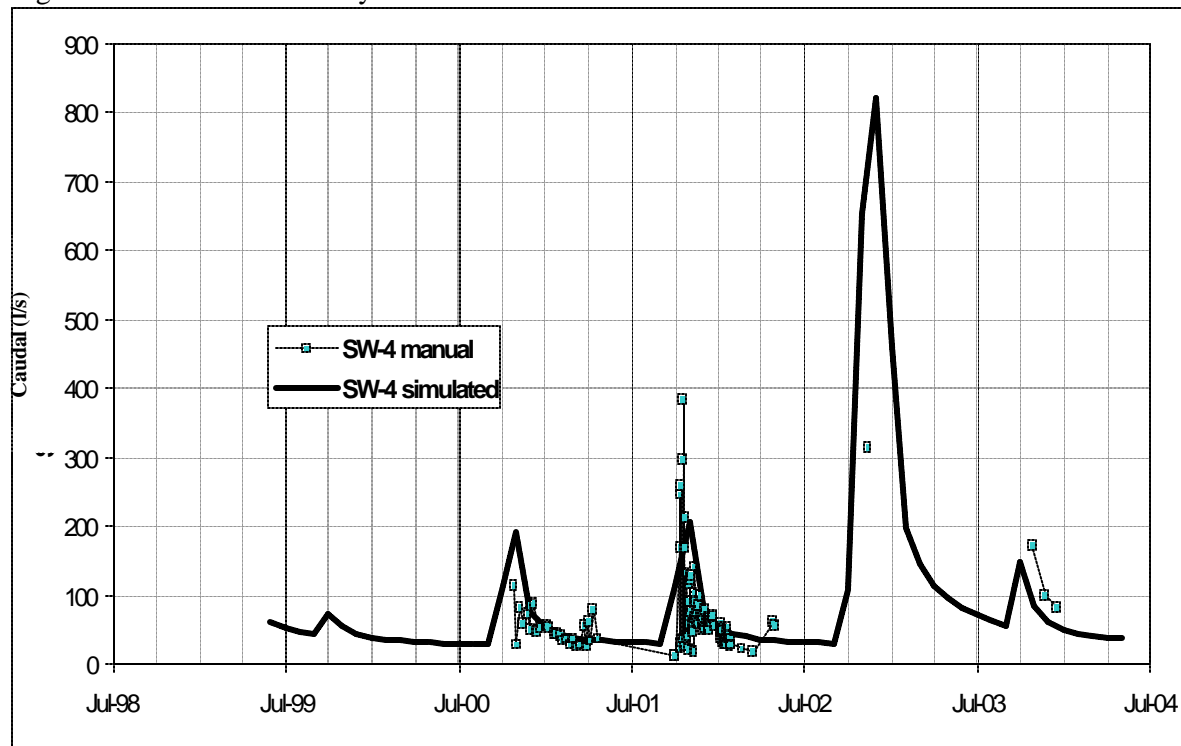


Figura 3.3e. Caudal Medido y Simulado en el Río de Las Taguas, Guanaco Zonzo – Tramo de Potrerillos

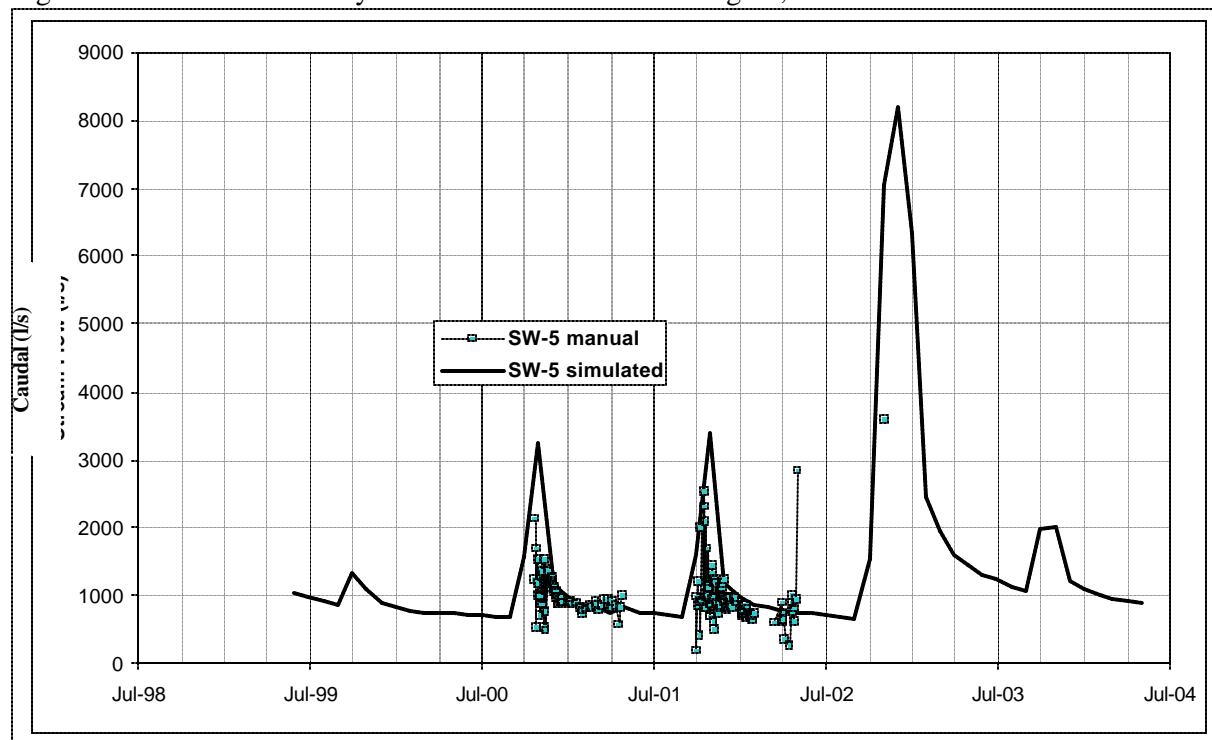


Figura 3.3f. Caudal Medido y Simulado en el Río Potrerillos Superior

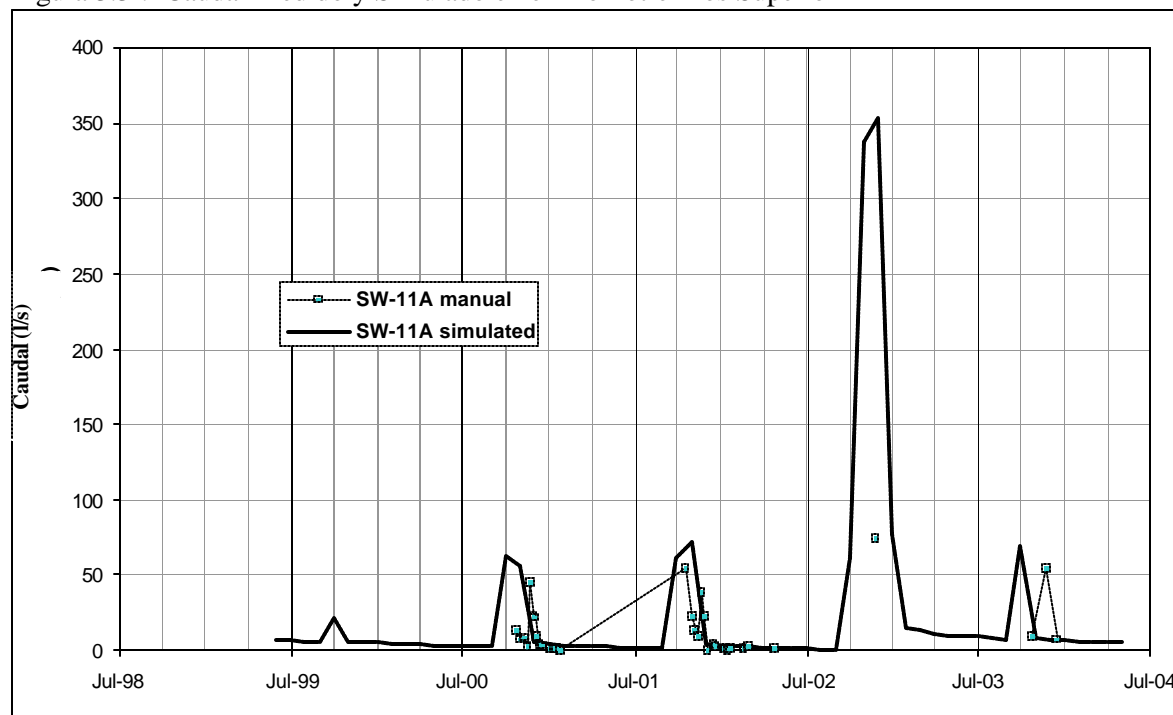


Figura 3.3g. Caudal Medido y Simulado en el Río Potrerillos Inferior

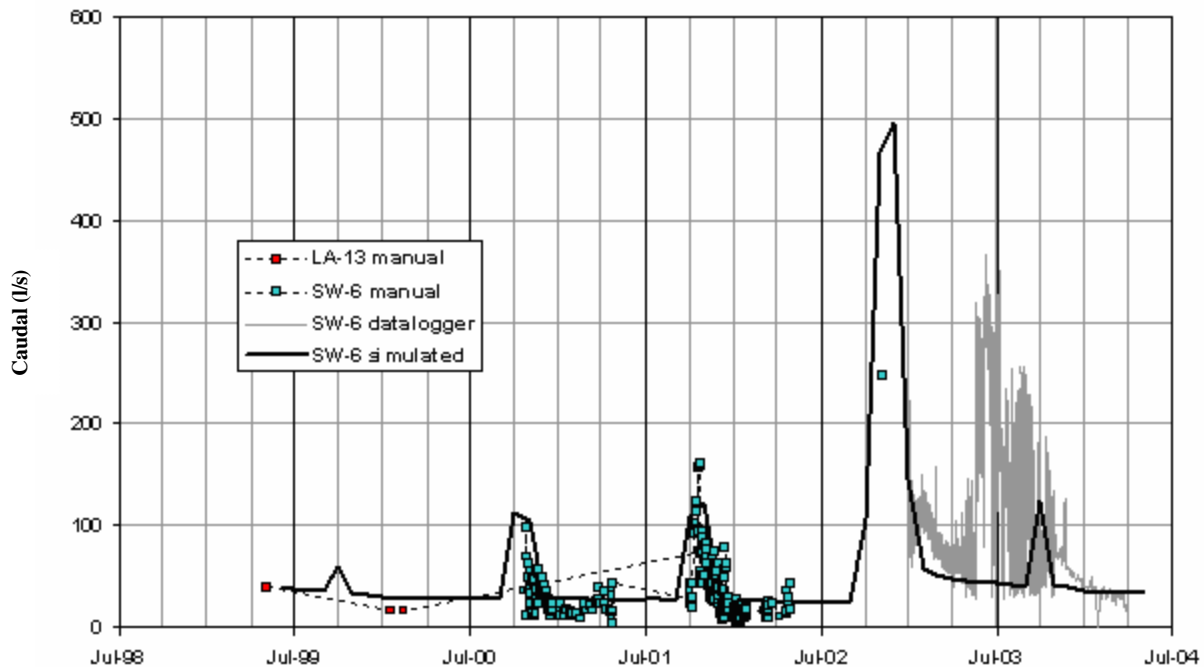


Figura 3.3h. Caudal Medido y Simulado en el Río de Las Taguas, Potrerillos – Tramo del Turbio

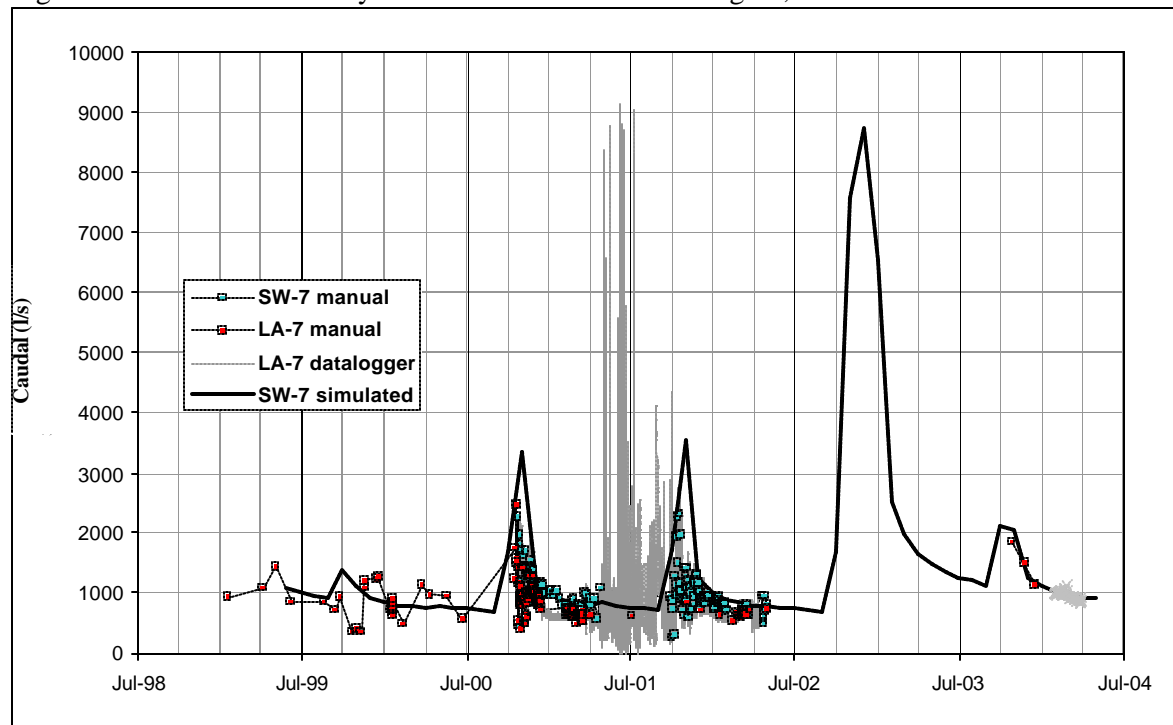


Figura 3.3i. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Canito Superior, Bifurcación Sur

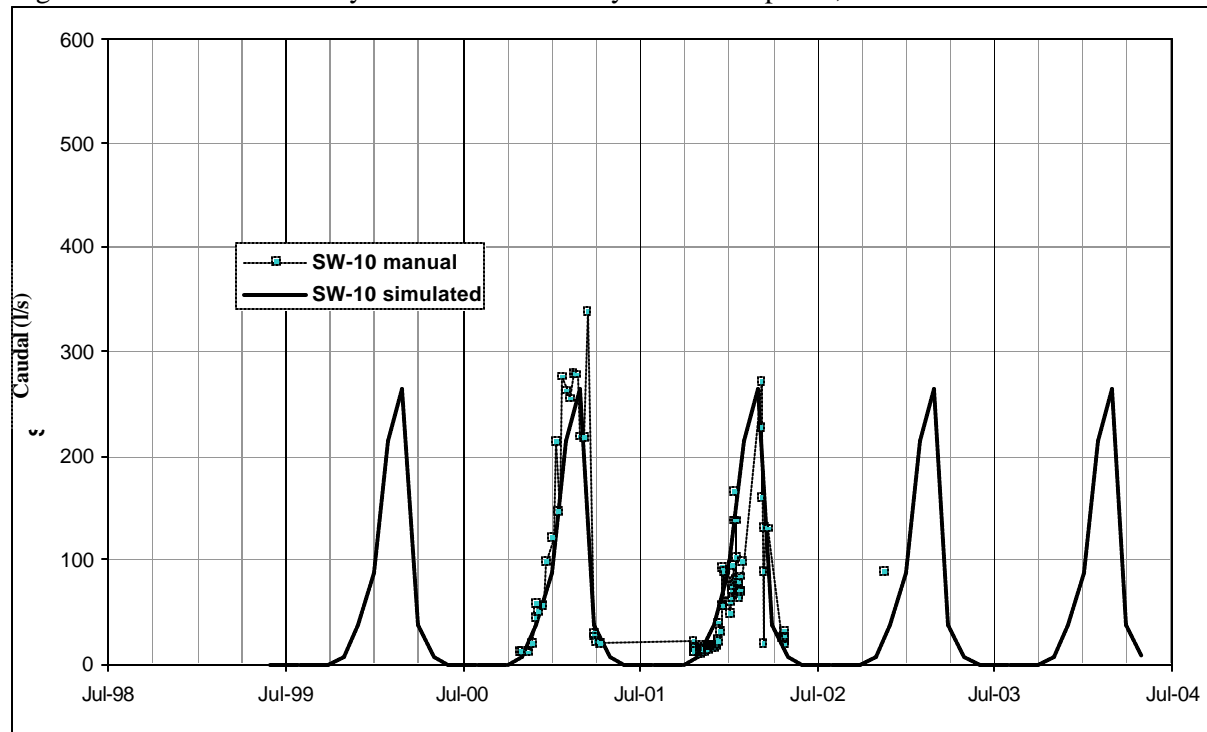


Figura 3.3j. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Canito Superior, Bifurcación Norte

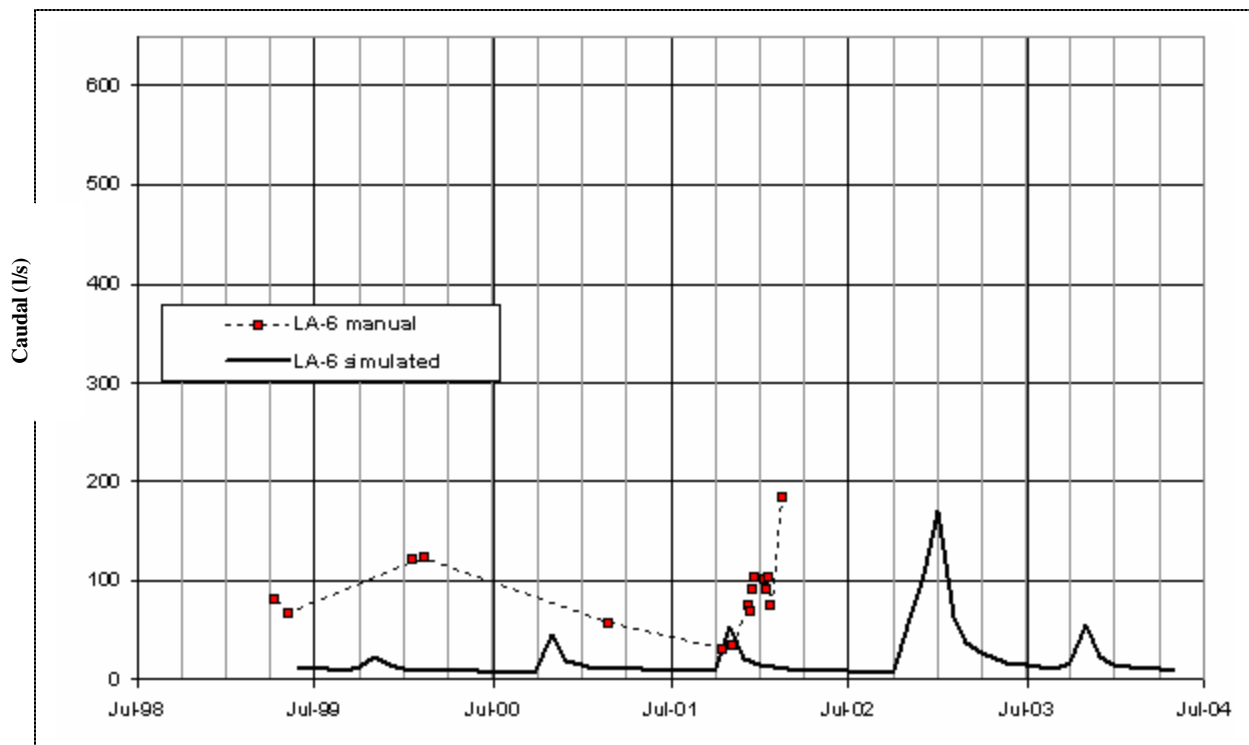


Figura 3.3k. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Canito Inferior

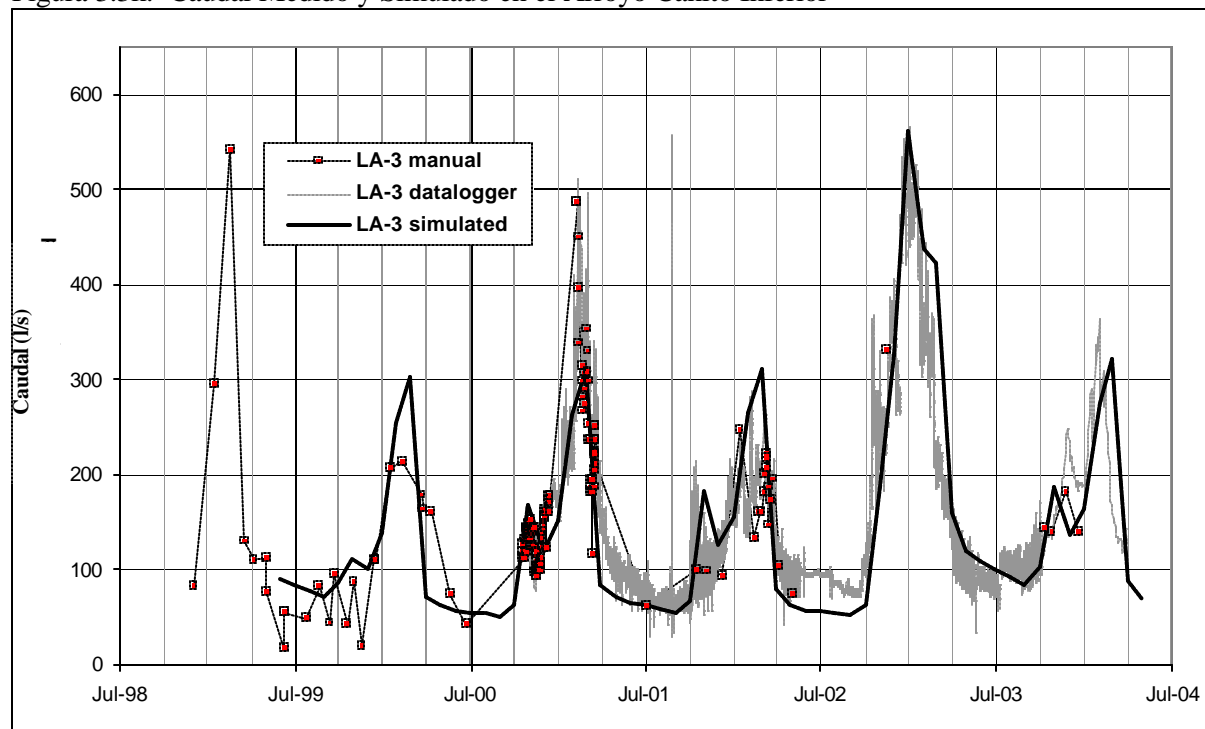


Figura 3.3l. Caudal Medido y Simulado en el Arroyo Turbio Inferior

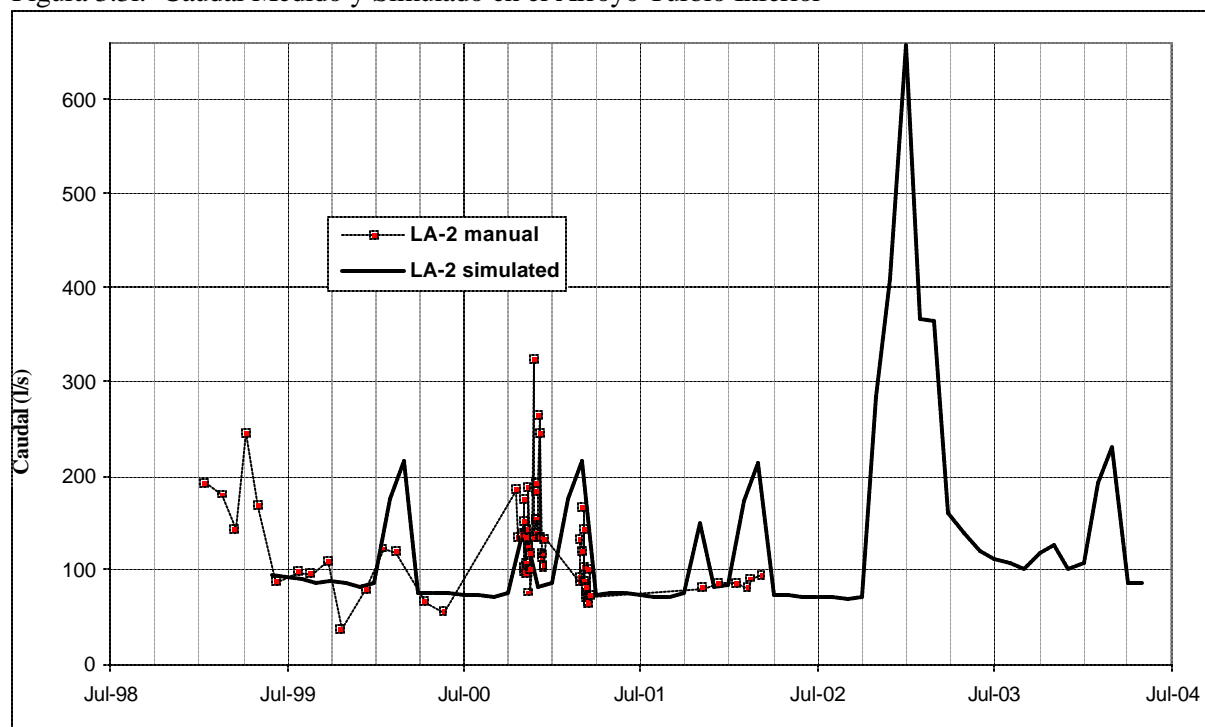


Figura 3.3m. Caudal Medido y Simulado en el Río Turbio Inferior

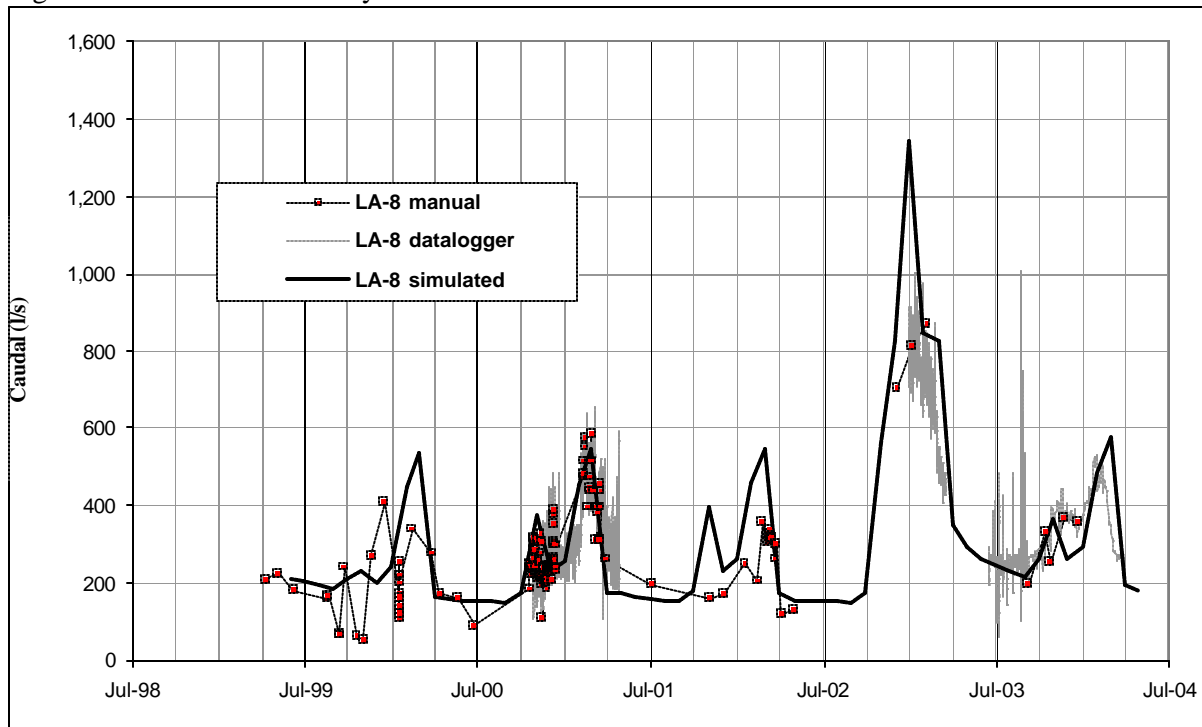


Figura 3.3n. Caudal Medido y Simulado en el Río de Las Taguas, Turbio – Tramo del Amarillos

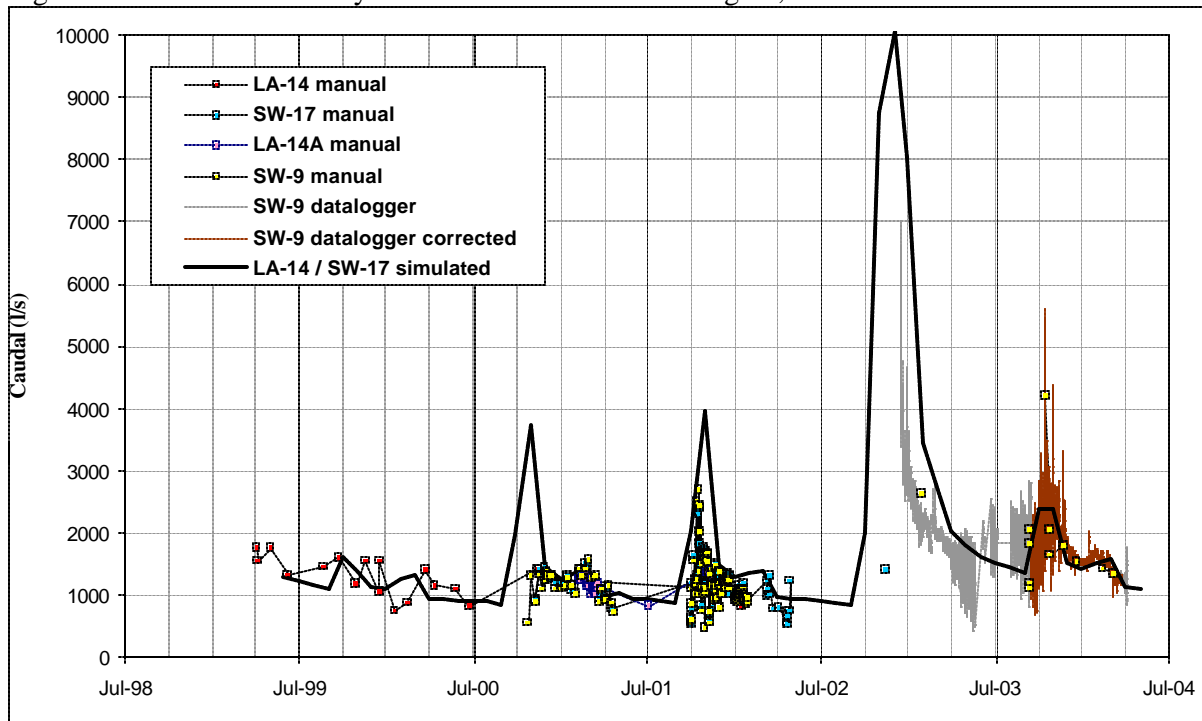


Figura 3.3o. Caudal Medido y Simulado en el Río Amarillos

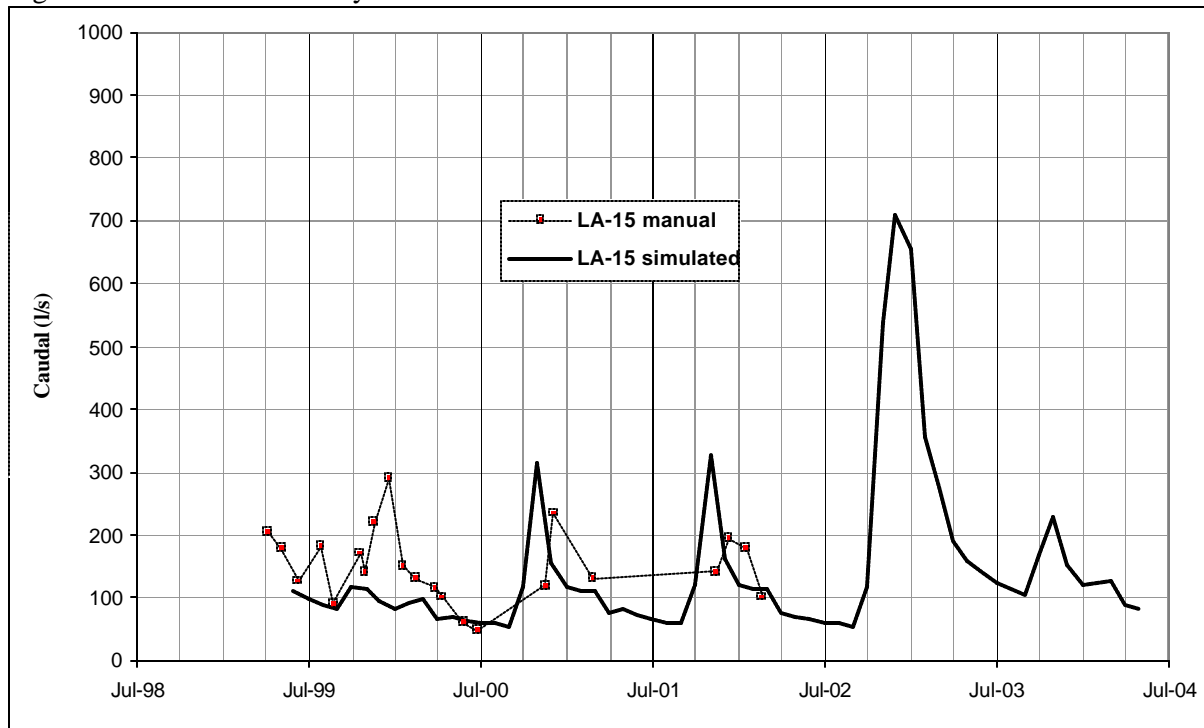
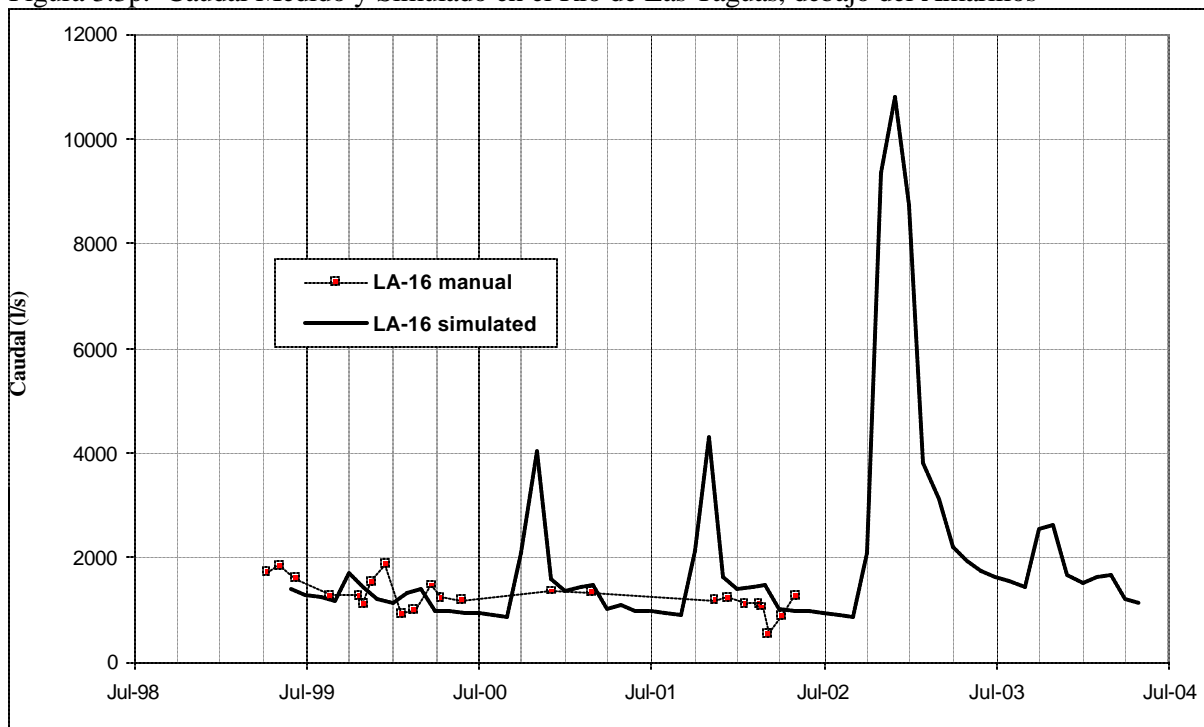


Figura 3.3p. Caudal Medido y Simulado en el Río de Las Taguas, debajo del Amarillos



4.0 RESULTADOS

Las Tablas 5.1 a 5.9 presentan los balances de agua simulados para cada cuenca del área de estudio correspondientes al período de mayo 1999 hasta abril 2004. En base a dichas tablas, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- La relación de caudal de cursos de agua a área de cuenca para la mayoría de las cuencas en el área de estudio se encuentra entre 0,7 y 3,1 l/s por km² para años normales (secos) y entre 4,7 y 6,9 l/s por km² para los años de El Niño. Las cuencas del Canito y Arroyo Turbio son las excepciones a esta observación, las cuales generan entre 4,0 y 6,4 l/s por km² para años normales (secos) y entre 8,8 y 9,1 l/s por km² para los años de El Niño, a raíz de la influencia del derretimiento de glaciares.
- El caudal base de aguas subterráneas representa un gran componente del caudal de los cursos de aguas en el área de estudio. La mayoría de las aguas de derretimiento entran al sistema de aguas subterráneas antes de descargar hacia los cursos de aguas superficiales, causando que se atenúe el escurrimiento máximo primaveral y haciendo que los caudales de los cursos de agua resulten aún más uniformes. La relación entre los valores mínimo y máximo de los caudales mensuales simulados sobre el período de calibración de cinco años oscila entre 0,04 en la cuenca del Guanaco Zonzo y 0,27 en la cuenca del Taguas Inferior.
- La evapotranspiración de aguas subterráneas es mayor en las cuencas de los Despoblados y Turbio/ Canito, donde los sistemas de vegas son más extensos.
- El caudal mínimo invernal (caudal base) fue mayor durante el año 2003, después del escurrimiento de El Niño de 2002-2003, que durante el invierno previo (Figuras 3.3h, 3.3n). Esto refleja la recarga del sistema durante los años húmedos, y la disminución gradual de los caudales durante los años secos intermedios. Las Tablas 5.1 a 5.8 muestran una pérdida neta de almacenamiento de aguas subterráneas durante los años secos y una ganancia de almacenamiento de dichas aguas durante el año húmedo de 2002-2003.

Tabla 5.1 Balance Simulado de Agua (l/s), Taguas Superior

Area de la cuenca = 155 km ²	entrada					almacenaje	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea	Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99			0	0	26	-344	22	284	64
Jun-99			0	0	26	-303	14	252	64
Jul-99			0	0	26	-278	11	229	64
Aug-99			0	0	26	-261	13	211	63
Sep-99			150	600	27	320	26	365	65
Oct-99			34	137	27	-171	26	279	64
Nov-99			0	0	26	-286	27	221	64
Dec-99			0	0	26	-258	24	197	64
Jan-00			0	0	26	-243	25	180	64
Feb-00			0	0	26	-227	19	170	64
Mar-00			0	0	26	-219	22	160	64
Apr-00			0	0	26	-206	14	155	63
Promedio			15	61	26	-206	20	225	64
May-00			0	0	26	-198	12	149	63
Jun-00			0	0	26	-191	10	144	63
Jul-00			0	0	26	-185	9	139	63
Aug-00			0	0	26	-181	11	133	63
Sep-00			287	1149	26	922	32	445	63
Oct-00			459	1835	28	1399	63	793	67
Nov-00			0	0	27	-447	48	361	65
Dec-00			0	0	27	-344	33	273	65
Jan-01			0	0	26	-292	29	225	64
Feb-01			0	0	26	-258	21	200	64
Mar-01			0	0	26	-240	23	179	64
Apr-01			10	39	26	-181	15	178	63
Promedio			63	252	27	-16	26	268	64
May-01			0	0	26	-211	13	161	63
Jun-01			0	0	26	-199	10	152	63
Jul-01			0	0	26	-190	9	144	63
Aug-01			0	0	26	-184	12	136	63
Sep-01			287	1149	26	920	32	447	62
Oct-01			492	1967	28	1505	67	848	67
Nov-01			0	0	27	-462	50	373	65
Dec-01			0	0	27	-352	34	280	65
Jan-02			0	0	26	-297	30	229	64
Feb-02			0	0	26	-261	21	202	64
Mar-02			0	0	26	-242	23	181	64
Apr-02			0	0	26	-220	15	168	64
Promedio			65	260	26	-16	26	277	64
May-02			0	0	26	-208	13	158	63
Jun-02			0	0	26	-197	10	150	63
Jul-02			0	0	26	-188	9	142	63
Aug-02			0	0	26	-183	12	134	63
Sep-02			287	1149	26	922	32	445	62
Oct-02			1242	4967	24	3841	142	2209	52
Nov-02			1261	5042	26	3060	381	2817	59
Dec-02			700	2800	29	979	321	2173	66
Jan-03			0	0	27	-1170	222	912	64
Feb-03			0	0	27	-787	100	650	64
Mar-03			0	0	27	-622	76	508	64
Apr-03			0	0	26	-511	42	432	64
Promedio			291	1163	26	411	113	894	62
May-03			0	0	26	-448	34	377	64
Jun-03			0	0	26	-403	26	340	64
Jul-03			0	0	26	-375	23	315	63
Aug-03			0	0	26	-354	26	292	63
Sep-03			287	1149	27	726	54	614	68
Oct-03			89	354	28	-120	57	468	64
Nov-03			0	0	27	-433	57	338	65
Dec-03			0	0	27	-374	43	293	64
Jan-04			0	0	26	-338	39	262	64
Feb-04			0	0	26	-308	26	245	64
Mar-04			0	0	26	-291	25	228	64
Apr-04			0	0	26	-270	15	217	63
Promedio			31	125	27	-249	35	332	64

Tabla 5.2 Balance Simulado de Agua (l/s), Despoblados

Area de la cuenca = 243 km ²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99			0	0	33	-690	36	635	51
Jun-99			0	0	32	-653	27	608	51
Jul-99			0	0	32	-626	24	585	50
Aug-99			0	0	32	-611	30	563	50
Sep-99			469	1093	33	674	47	822	52
Oct-99			226	526	32	-29	55	705	52
Nov-99			0	0	32	-657	68	570	51
Dec-99			0	0	32	-623	65	540	51
Jan-00			0	0	32	-604	73	513	51
Feb-00			0	0	32	-575	54	503	51
Mar-00			0	0	32	-567	63	485	51
Apr-00			34	79	32	-444	39	498	51
Promedio			61	142	32	-450	48	586	51
May-00			0	0	32	-531	32	480	51
Jun-00			0	0	32	-518	25	475	50
Jul-00			0	0	32	-508	22	468	50
Aug-00			0	0	32	-503	28	457	50
Sep-00			675	1574	34	1286	45	903	49
Oct-00			1636	3817	33	3183	72	2177	55
Nov-00			0	0	34	-769	78	673	52
Dec-00			0	0	33	-681	68	595	51
Jan-01			0	0	33	-639	74	547	51
Feb-01			0	0	32	-598	54	525	51
Mar-01			0	0	32	-580	63	498	51
Apr-01			142	332	32	-147	39	562	51
Promedio			204	477	32	-84	50	697	51
May-01			0	0	32	-547	32	496	51
Jun-01			0	0	32	-528	25	485	51
Jul-01			0	0	32	-515	22	474	50
Aug-01			0	0	32	-508	28	461	50
Sep-01			675	1574	34	1289	45	900	48
Oct-01			1711	3992	33	3344	73	2265	55
Nov-01			0	0	34	-775	78	679	52
Dec-01			0	0	33	-685	68	599	51
Jan-02			0	0	33	-641	74	549	51
Feb-02			0	0	32	-599	54	526	51
Mar-02			0	0	32	-580	63	498	51
Apr-02			0	0	32	-547	38	490	51
Promedio			199	464	33	-108	50	702	51
May-02			0	0	32	-531	32	480	51
Jun-02			0	0	32	-516	24	472	50
Jul-02			0	0	32	-504	21	464	50
Aug-02			0	0	32	-497	27	452	50
Sep-02			675	1574	34	1317	45	873	48
Oct-02			2917	6807	39	5905	86	3751	38
Nov-02			2961	6910	40	5516	131	4234	46
Dec-02			2154	5025	36	3439	136	3585	56
Jan-03			0	0	35	-1402	132	1253	51
Feb-03			0	0	34	-1171	87	1067	51
Mar-03			0	0	33	-1039	95	927	51
Apr-03			0	0	33	-925	55	853	50
Promedio			726	1693	34	799	73	1534	49
May-03			0	0	32	-855	43	794	50
Jun-03			0	0	32	-801	32	751	50
Jul-03			0	0	32	-760	27	714	50
Aug-03			0	0	32	-729	34	677	50
Sep-03			675	1574	34	1012	56	1162	52
Oct-03			790	1844	31	1148	74	1390	54
Nov-03			0	0	33	-862	85	759	52
Dec-03			0	0	33	-787	77	692	51
Jan-04			0	0	32	-743	82	642	51
Feb-04			0	0	32	-696	59	618	51
Mar-04			0	0	32	-673	68	587	51
Apr-04			0	0	32	-634	41	574	51
Promedio			122	285	32	-448	57	780	51

Tabla 5.3 Balance Simulado de Agua (l/s), Guanaco Zonzo

Area de la cuenca = 39 km ²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99			0	0	1	-80	9	64	9
Jun-99			0	0	1	-70	6	55	9
Jul-99			0	0	1	-65	6	51	9
Aug-99			0	0	1	-63	7	48	9
Sep-99			34	136	1	75	11	77	9
Oct-99			6	23	1	-50	12	60	9
Nov-99			0	0	1	-71	16	48	9
Dec-99			0	0	1	-65	14	43	8
Jan-00			0	0	1	-61	14	39	8
Feb-00			0	0	1	-55	10	38	8
Mar-00			0	0	1	-54	10	36	8
Apr-00			0	0	1	-49	6	36	8
Promedio			3	13	1	-51	10	50	9
May-00			0	0	1	-48	5	35	8
Jun-00			0	0	1	-46	4	35	8
Jul-00			0	0	1	-45	3	34	8
Aug-00			0	0	1	-45	4	33	8
Sep-00			72	289	1	234	10	111	8
Oct-00			98	391	1	270	15	195	9
Nov-00			0	0	1	-104	16	80	9
Dec-00			0	0	1	-81	15	58	9
Jan-01			0	0	1	-70	15	48	9
Feb-01			0	0	1	-61	10	43	8
Mar-01			0	0	1	-58	10	40	8
Apr-01			0	2	1	-51	6	39	8
Promedio			14	57	1	-9	9	62	9
May-01			0	0	1	-50	5	37	8
Jun-01			0	0	1	-48	4	36	8
Jul-01			0	0	1	-46	3	35	8
Aug-01			0	0	1	-46	4	34	8
Sep-01			72	289	1	234	9	111	8
Oct-01			106	423	1	293	16	211	9
Nov-01			0	0	1	-107	16	83	9
Dec-01			0	0	1	-82	15	60	9
Jan-02			0	0	1	-71	14	49	9
Feb-02			0	0	1	-62	10	44	8
Mar-02			0	0	1	-58	10	40	8
Apr-02			0	0	1	-53	6	39	8
Promedio			15	59	1	-8	9	65	9
May-02			0	0	1	-50	5	38	8
Jun-02			0	0	1	-48	4	37	8
Jul-02			0	0	1	-46	3	35	8
Aug-02			0	0	1	-46	4	34	8
Sep-02			72	289	1	235	9	111	8
Oct-02			313	1252	1	871	27	658	8
Nov-02			318	1271	1	705	49	827	10
Dec-02			114	454	1	51	43	464	10
Jan-03			0	0	1	-244	36	199	9
Feb-03			0	0	1	-175	18	148	9
Mar-03			0	0	1	-144	20	116	9
Apr-03			0	0	1	-119	12	99	9
Promedio			68	272	1	82	19	230	9
May-03			0	0	1	-103	10	85	9
Jun-03			0	0	1	-92	8	76	9
Jul-03			0	0	1	-83	7	68	9
Aug-03			0	0	1	-76	8	60	9
Sep-03			72	289	1	186	14	153	9
Oct-03			8	34	1	-70	15	89	9
Nov-03			0	0	1	-90	18	64	9
Dec-03			0	0	1	-78	16	54	9
Jan-04			0	0	1	-74	17	48	9
Feb-04			0	0	1	-67	13	46	9
Mar-04			0	0	1	-65	14	43	9
Apr-04			0	0	1	-58	8	42	9
Promedio			7	27	1	-56	12	69	9

Tabla 5.4 Balance Simulado de Agua (l/s), Potrerillos

Area de la cuenca = 27 km ²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99			0	0	2	-48	6	38	5
Jun-99			0	0	2	-46	5	38	5
Jul-99			0	0	1	-45	4	37	5
Aug-99			0	0	1	-45	5	36	5
Sep-99			36	55	1	20	7	60	5
Oct-99			0	0	1	-47	8	35	5
Nov-99			0	0	1	-47	11	32	5
Dec-99			0	0	1	-45	10	31	5
Jan-00			0	0	1	-45	12	29	5
Feb-00			0	0	1	-42	9	29	5
Mar-00			0	0	1	-42	10	28	5
Apr-00			0	0	1	-39	7	28	5
Promedio			3	5	1	-39	8	35	5
May-00			0	0	1	-38	6	29	5
Jun-00			0	0	1	-37	4	29	6
Jul-00			0	0	1	-37	4	29	6
Aug-00			0	0	1	-37	5	28	6
Sep-00			98	148	2	123	8	112	5
Oct-00			85	127	2	96	9	104	5
Nov-00			0	0	2	-47	11	32	5
Dec-00			0	0	2	-44	10	30	5
Jan-01			0	0	1	-43	11	28	5
Feb-01			0	0	1	-40	9	27	5
Mar-01			0	0	1	-40	10	26	5
Apr-01			0	0	1	-37	6	26	5
Promedio			15	23	1	-15	8	42	5
May-01			0	0	1	-36	5	27	5
Jun-01			0	0	1	-35	4	27	5
Jul-01			0	0	1	-35	4	27	6
Aug-01			0	0	1	-35	5	26	6
Sep-01			98	148	2	126	7	109	5
Oct-01			105	158	2	127	9	123	5
Nov-01			0	0	2	-45	11	31	5
Dec-01			0	0	2	-42	10	28	5
Jan-02			0	0	1	-41	11	26	5
Feb-02			0	0	1	-38	8	26	5
Mar-02			0	0	1	-38	10	24	5
Apr-02			0	0	1	-35	6	25	5
Promedio			17	25	1	-11	7	41	5
May-02			0	0	1	-34	5	25	5
Jun-02			0	0	1	-33	4	25	5
Jul-02			0	0	1	-33	4	25	6
Aug-02			0	0	1	-33	5	24	6
Sep-02			98	148	2	128	7	108	5
Oct-02			426	639	3	586	10	467	5
Nov-02			432	648	4	570	15	496	5
Dec-02			92	138	4	69	14	145	5
Jan-03			0	0	4	-74	15	58	5
Feb-03			0	0	3	-65	11	52	5
Mar-03			0	0	3	-62	12	48	5
Apr-03			0	0	3	-56	8	46	5
Promedio			87	131	3	80	9	127	5
May-03			0	0	3	-54	7	45	5
Jun-03			0	0	2	-52	5	44	5
Jul-03			0	0	2	-51	5	43	5
Aug-03			0	0	2	-50	6	41	5
Sep-03			98	148	2	109	9	125	5
Oct-03			0	0	2	-55	10	42	5
Nov-03			0	0	2	-54	12	39	5
Dec-03			0	0	2	-52	12	37	5
Jan-04			0	0	2	-51	13	35	5
Feb-04			0	0	2	-47	10	34	5
Mar-04			0	0	2	-47	11	33	5
Apr-04			0	0	2	-44	7	33	5
Promedio			8	12	2	-37	9	46	5

Tabla 5.5 Balance Simulado de Agua (l/s), Arroyo Canito

Area de la cuenca = 25 km ²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99		12	0	0	15	-118	17	107	21
Jun-99		0	0	0	15	-119	13	100	21
Jul-99		0	0	0	15	-112	12	94	21
Aug-99		0	0	0	15	-107	15	87	21
Sep-99		12	0	229	14	107	22	103	23
Oct-99		20	0	325	13	177	27	128	26
Nov-99		50	0	0	14	-106	34	115	22
Dec-99		100	0	0	15	-91	32	153	21
Jan-00		225	0	0	15	-85	36	268	21
Feb-00		275	0	0	15	-75	27	318	20
Mar-00		50	0	0	15	-73	31	86	20
Apr-00		20	0	82	14	-2	19	77	21
Promedio		64	0	53	15	-50	24	136	21
May-00		12	0	0	14	-83	16	72	20
Jun-00		0	0	0	14	-90	13	71	20
Jul-00		0	0	0	14	-87	11	70	20
Aug-00		0	0	0	14	-87	14	67	20
Sep-00		12	0	229	14	134	21	78	22
Oct-00		20	0	907	11	687	29	189	33
Nov-00		50	0	0	14	-129	35	134	23
Dec-00		100	0	0	15	-105	33	165	21
Jan-01		225	0	0	15	-93	37	275	21
Feb-01		275	0	10	15	-72	27	324	21
Mar-01		50	0	64	14	-23	32	97	21
Apr-01		20	0	119	14	22	20	89	22
Promedio		64	0	111	14	6	24	136	22
May-01		12	0	0	14	-92	17	81	21
Jun-01		0	0	0	14	-97	13	78	20
Jul-01		0	0	0	14	-92	12	75	20
Aug-01		0	0	0	14	-91	14	71	20
Sep-01		12	0	229	14	128	21	83	22
Oct-01		20	0	932	11	695	30	205	33
Nov-01		50	0	0	14	-136	35	141	23
Dec-01		100	0	7	14	-104	34	170	22
Jan-02		225	0	0	15	-97	37	280	21
Feb-02		275	0	0	15	-84	27	326	20
Mar-02		50	0	0	15	-80	32	93	20
Apr-02		20	0	23	14	-60	20	77	20
Promedio		64	0	99	14	-9	24	140	22
May-02		12	0	0	14	-84	16	74	20
Jun-02		0	0	0	14	-91	13	73	20
Jul-02		0	0	0	14	-89	11	72	20
Aug-02		0	0	0	14	-88	14	68	20
Sep-02		12	0	229	14	133	21	79	22
Oct-02		20	0	992	14	757	30	210	29
Nov-02		50	0	1007	15	646	45	349	32
Dec-02		100	0	1174	16	615	52	589	35
Jan-03		225	0	0	18	-290	49	457	27
Feb-03		275	0	0	18	-207	33	442	25
Mar-03		50	0	0	18	-169	37	176	24
Apr-03		20	0	0	17	-145	22	138	23
Promedio		64	0	284	15	82	29	227	25
May-03		12	0	0	17	-137	18	126	22
Jun-03		0	0	0	17	-137	14	118	22
Jul-03		0	0	0	17	-128	12	111	22
Aug-03		0	0	0	17	-122	15	102	21
Sep-03		12	0	229	16	91	23	121	23
Oct-03		20	0	622	13	387	30	208	31
Nov-03		50	0	0	16	-147	36	153	23
Dec-03		100	0	0	16	-119	34	180	22
Jan-04		225	0	0	16	-108	37	290	21
Feb-04		275	0	0	16	-94	28	337	21
Mar-04		50	0	0	16	-90	32	103	21
Apr-04		20	0	0	16	-89	20	84	20
Promedio		64	0	71	16	-58	25	161	22

Tabla 5.6 Balance Simulado de Agua (l/s), Arroyo Turbio

Area de la cuenca = 27 km ²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99		9	0	0	25	-108	16	104	23
Jun-99		0	0	0	25	-105	5	101	23
Jul-99		0	0	0	24	-102	5	98	23
Aug-99		0	0	0	24	-100	6	95	23
Sep-99		9	31	123	26	51	18	98	22
Oct-99		15	12	50	29	-30	21	95	21
Nov-99		38	0	0	26	-75	26	89	22
Dec-99		75	0	0	24	-42	26	92	23
Jan-00		169	0	0	24	-42	29	182	23
Feb-00		206	0	0	23	-39	23	223	23
Mar-00		38	0	0	23	-70	25	82	23
Apr-00		15	0	0	24	-83	17	83	22
Promedio		48	4	14	25	-62	18	112	23
May-00		9	0	0	23	-88	15	82	23
Jun-00		0	0	0	23	-87	5	82	23
Jul-00		0	0	0	22	-85	4	81	23
Aug-00		0	0	0	22	-84	5	79	23
Sep-00		9	50	198	24	158	18	84	22
Oct-00		15	102	408	37	367	22	154	19
Nov-00		38	0	0	27	-74	26	91	21
Dec-00		75	0	0	25	-41	26	93	22
Jan-01		169	0	0	24	-40	29	182	23
Feb-01		206	0	0	24	-38	23	222	23
Mar-01		38	0	0	24	-67	25	81	22
Apr-01		15	7	28	25	-47	17	83	22
Promedio		48	13	53	25	-11	18	110	22
May-01		9	0	0	23	-87	15	82	23
Jun-01		0	0	0	23	-86	5	82	23
Jul-01		0	0	0	23	-84	4	80	23
Aug-01		0	0	0	22	-84	5	78	23
Sep-01		9	50	198	24	160	18	83	22
Oct-01		15	108	430	37	390	22	159	18
Nov-01		38	0	0	27	-73	26	90	21
Dec-01		75	0	0	25	-40	26	92	22
Jan-02		169	0	0	24	-39	28	181	23
Feb-02		206	0	0	24	-36	23	221	23
Mar-02		38	0	0	23	-68	25	80	23
Apr-02		15	0	0	23	-82	17	81	23
Promedio		48	13	52	25	-11	18	109	22
May-02		9	0	0	23	-86	15	80	23
Jun-02		0	0	0	23	-84	5	80	23
Jul-02		0	0	0	22	-83	4	78	23
Aug-02		0	0	0	22	-82	5	76	23
Sep-02		9	50	198	24	162	17	80	22
Oct-02		15	214	858	34	787	22	294	19
Nov-02		38	218	871	40	695	35	419	19
Dec-02		75	279	1117	46	791	35	671	19
Jan-03		169	0	0	37	-232	38	379	21
Feb-03		206	0	0	34	-187	30	375	22
Mar-03		38	0	0	33	-158	35	171	23
Apr-03		15	0	0	31	-150	23	150	23
Promedio		48	63	254	31	114	22	238	22
May-03		9	0	0	30	-135	19	131	23
Jun-03		0	0	0	29	-124	7	122	24
Jul-03		0	0	0	28	-117	5	117	24
Aug-03		0	0	0	27	-113	6	110	24
Sep-03		9	50	198	29	116	21	126	23
Oct-03		15	40	162	37	72	27	136	20
Nov-03		38	0	0	30	-92	28	109	22
Dec-03		75	0	0	28	-63	28	115	23
Jan-04		169	0	0	27	-60	30	202	23
Feb-04		206	0	0	26	-56	24	240	24
Mar-04		38	0	0	25	-81	26	94	24
Apr-04		15	0	0	25	-95	18	94	24
Promedio		48	8	30	28	-62	20	133	23

Tabla 5.7 Balance Simulado de Agua (l/s), Río Turbio

Area de la cuenca = 4 km²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99	211		0	0	14	-10	6	214	15
Jun-99	201		0	0	14	-9	5	205	14
Jul-99	193		0	0	14	-8	4	197	14
Aug-99	182		0	0	14	-8	6	185	14
Sep-99	200		5	22	14	10	8	210	14
Oct-99	223		3	11	14	-1	9	228	14
Nov-99	204		0	0	14	-10	12	202	14
Dec-99	245		0	0	14	-8	12	242	14
Jan-00	451		0	0	15	-8	13	446	14
Feb-00	541		0	0	15	-6	10	538	13
Mar-00	168		0	0	15	-7	12	164	13
Apr-00	160		1	3	15	-3	7	160	13
Promedio			1	3	14	-6	9	249	14
May-00	155		0	0	15	-5	6	155	13
Jun-00	153		0	0	15	-5	5	155	13
Jul-00	151		0	0	15	-5	4	154	13
Aug-00	146		0	0	15	-5	6	148	13
Sep-00	162		8	30	15	19	8	175	12
Oct-00	343		19	78	13	53	10	376	14
Nov-00	226		0	0	14	-16	13	228	14
Dec-00	258		0	0	14	-11	12	257	14
Jan-01	458		0	0	14	-10	14	454	14
Feb-01	547		0	0	14	-7	10	544	14
Mar-01	179		0	0	15	-7	12	175	13
Apr-01	172		2	7	15	1	7	174	13
Promedio			2	10	15	0	9	250	13
May-01	163		0	0	15	-6	6	165	13
Jun-01	159		0	0	15	-5	5	162	13
Jul-01	155		0	0	15	-5	4	158	13
Aug-01	149		0	0	15	-5	6	151	13
Sep-01	166		8	30	15	19	8	180	12
Oct-01	364		20	81	13	55	10	398	15
Nov-01	232		0	0	14	-16	13	235	14
Dec-01	262		0	0	14	-12	12	261	14
Jan-02	461		0	0	14	-10	14	457	14
Feb-02	548		0	0	14	-8	10	546	14
Mar-02	173		0	0	15	-8	12	170	14
Apr-02	158		0	0	15	-6	7	157	13
Promedio			2	9	14	-1	9	253	14
May-02	154		0	0	15	-5	6	155	13
Jun-02	152		0	0	15	-5	5	154	13
Jul-02	150		0	0	15	-5	4	153	13
Aug-02	144		0	0	15	-5	6	146	13
Sep-02	159		8	30	15	19	8	173	12
Oct-02	504		33	131	15	96	12	563	12
Nov-02	768		33	133	13	84	17	831	16
Dec-02	1260		46	184	10	114	21	1343	21
Jan-03	836		0	0	10	-39	15	849	21
Feb-03	817		0	0	11	-27	11	825	20
Mar-03	348		0	0	12	-23	12	351	19
Apr-03	289		0	0	12	-18	7	293	19
Promedio			10	40	13	15	10	486	16
May-03	257		0	0	13	-16	6	262	18
Jun-03	240		0	0	13	-14	5	246	17
Jul-03	228		0	0	13	-13	4	233	17
Aug-03	212		0	0	13	-13	6	217	16
Sep-03	247		8	30	13	12	8	262	17
Oct-03	344		10	40	13	17	10	363	17
Nov-03	262		0	0	13	-18	12	264	17
Dec-03	295		0	0	13	-14	12	294	16
Jan-04	492		0	0	13	-13	14	489	16
Feb-04	578		0	0	14	-11	10	576	16
Mar-04	197		0	0	14	-11	12	194	15
Apr-04	178		0	0	14	-8	7	178	15
Promedio			1	6	13	-9	9	298	16

Tabla 5.8 Balance Simulado de Agua (l/s), Amarillos

Area de la cuenca = 52 km ²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99		3	0	0	7	-165	7	110	58
Jun-99		0	0	0	7	-150	5	95	57
Jul-99		0	0	0	7	-139	4	85	56
Aug-99		0	0	0	7	-131	4	77	56
Sep-99		3	33	299	6	158	9	115	59
Oct-99		5	16	147	6	-7	10	114	59
Nov-99		13	0	0	6	-140	10	92	57
Dec-99		25	0	0	6	-112	8	79	56
Jan-00		56	0	0	6	-88	8	87	56
Feb-00		69	0	0	6	-81	5	95	56
Mar-00		13	0	0	6	-104	5	62	56
Apr-00		5	3	26	6	-81	3	63	56
Promedio		16	4	39	6	-87	7	89	57
May-00		3	0	0	6	-107	3	58	55
Jun-00		0	0	0	6	-106	2	55	55
Jul-00		0	0	0	6	-103	2	52	55
Aug-00		0	0	0	6	-100	2	49	55
Sep-00		3	48	433	7	312	5	117	57
Oct-00		5	115	1038	6	749	18	328	69
Nov-00		13	0	0	6	-219	14	161	62
Dec-00		25	0	0	6	-157	10	118	59
Jan-01		56	0	0	6	-114	10	109	58
Feb-01		69	0	0	6	-98	7	109	57
Mar-01		13	0	0	6	-116	6	72	56
Apr-01		5	10	94	6	-25	4	79	57
Promedio		16	14	130	6	-7	7	109	58
May-01		3	0	0	6	-119	3	69	56
Jun-01		0	0	0	6	-114	3	62	56
Jul-01		0	0	0	6	-108	2	57	56
Aug-01		0	0	0	6	-104	2	53	55
Sep-01		3	48	433	7	309	6	121	56
Oct-01		5	121	1085	6	785	20	342	70
Nov-01		13	0	0	6	-225	14	167	62
Dec-01		25	0	0	6	-160	10	122	60
Jan-02		56	0	0	6	-116	10	111	58
Feb-02		69	0	0	6	-99	6	111	57
Mar-02		13	0	0	6	-117	7	72	56
Apr-02		5	0	0	6	-115	4	66	56
Promedio		16	14	127	6	-15	7	113	58
May-02		3	0	0	6	-110	3	61	56
Jun-02		0	0	0	6	-108	2	57	56
Jul-02		0	0	0	6	-104	2	53	55
Aug-02		0	0	0	6	-101	2	49	55
Sep-02		3	48	433	7	313	6	117	56
Oct-02		5	208	1874	8	1433	36	564	63
Nov-02		13	211	1903	7	1213	82	755	80
Dec-02		25	136	1225	6	540	73	695	86
Jan-03		56	0	0	7	-423	42	373	72
Feb-03		69	0	0	7	-296	21	284	66
Mar-03		13	0	0	7	-255	19	193	62
Apr-03		5	0	0	7	-219	11	160	60
Promedio		16	50	453	7	157	25	280	64
May-03		3	0	0	7	-195	9	137	59
Jun-03		0	0	0	7	-179	7	121	58
Jul-03		0	0	0	7	-165	5	109	57
Aug-03		0	0	0	7	-155	6	100	57
Sep-03		3	48	433	7	248	11	172	61
Oct-03		5	57	509	7	264	16	233	64
Nov-03		13	0	0	7	-209	16	152	60
Dec-03		25	0	0	7	-160	13	121	58
Jan-04		56	0	0	7	-128	12	121	57
Feb-04		69	0	0	7	-114	9	124	57
Mar-04		13	0	0	7	-131	9	85	56
Apr-04		5	0	0	7	-129	5	80	56
Promedio		16	9	79	7	-88	10	130	58

Tabla 5.9 Balance Simulado de Agua (l/s), Taguas Inferior

Area de la cuenca = 55 km²	entrada					Cambio en el Almacenamiento de Agua en Subterránea	salida		
	Afluente Agua en Superficie	Derretimiento Glaciar	Derrame hacia Agua en Superficie	Recarga Agua Subterránea	Afluente Agua Subterránea		Agua Subterránea ET	Descarga de Agua en Superficie	Efluente Agua Subterránea
May-99	1345		0	0	135	-24	17	1398	88
Jun-99	1252		0	0	134	-16	13	1303	86
Jul-99	1183		0	0	133	-13	12	1232	86
Aug-99	1120		0	0	133	-13	15	1165	86
Sep-99	1649		0	0	138	-11	21	1689	87
Oct-99	1421		0	0	137	-12	25	1457	87
Nov-99	1165		0	0	135	-14	32	1195	86
Dec-99	1131		0	0	134	-12	32	1159	86
Jan-00	1294		0	0	134	-12	36	1318	86
Feb-00	1373		0	0	133	-9	27	1403	85
Mar-00	935		0	0	133	-11	32	962	85
Apr-00	939		0	0	133	-7	20	975	85
Promedio			0	0	134	-13	23	1271	86
May-00	907		0	0	133	-9	17	946	85
Jun-00	892		0	0	133	-9	13	935	85
Jul-00	875		0	0	132	-9	12	920	85
Aug-00	848		0	0	132	-11	15	891	85
Sep-00	1863		41	372	129	183	25	2090	107
Oct-00	3973		0	0	152	-64	26	4065	98
Nov-00	1535		0	0	140	-40	33	1589	92
Dec-00	1331		0	0	137	-24	32	1371	89
Jan-01	1410		0	0	135	-18	36	1440	87
Feb-01	1449		0	0	134	-12	27	1482	86
Mar-01	990		0	0	134	-13	32	1019	86
Apr-01	1059		0	0	135	-8	20	1096	86
Promedio			3	31	135	-3	24	1487	89
May-01	954		0	0	134	-9	17	994	86
Jun-01	923		0	0	133	-9	13	967	85
Jul-01	895		0	0	133	-9	12	940	85
Aug-01	861		0	0	133	-10	15	904	85
Sep-01	1868		51	462	126	229	26	2141	112
Oct-01	4187		0	0	152	-78	27	4292	99
Nov-01	1568		0	0	140	-46	33	1628	92
Dec-01	1350		0	0	137	-27	32	1393	89
Jan-02	1421		0	0	135	-20	36	1453	87
Feb-02	1454		0	0	135	-13	27	1488	86
Mar-02	986		0	0	134	-13	32	1015	86
Apr-02	945		0	0	133	-9	20	982	86
Promedio			4	39	135	-1	24	1516	90
May-02	916		0	0	133	-9	17	956	85
Jun-02	895		0	0	133	-9	13	938	85
Jul-02	872		0	0	132	-9	12	917	85
Aug-02	840		0	0	132	-10	15	883	85
Sep-02	1826		51	462	126	229	26	2099	112
Oct-02	8212		222	1999	105	943	45	9338	211
Nov-02	9959		109	980	138	140	56	10810	182
Dec-02	8405		0	0	163	-315	38	8722	124
Jan-03	3644		0	0	145	-157	39	3803	105
Feb-03	3026		0	0	141	-86	28	3128	97
Mar-03	2142		0	0	138	-53	32	2208	93
Apr-03	1882		0	0	137	-32	20	1940	90
Promedio			32	287	135	53	28	3812	113
May-03	1699		0	0	135	-24	17	1753	89
Jun-03	1578		0	0	135	-19	13	1630	88
Jul-03	1481		0	0	134	-17	12	1533	87
Aug-03	1387		0	0	133	-16	15	1434	87
Sep-03	2487		0	0	142	-13	21	2532	89
Oct-03	2585		0	0	144	-14	25	2626	92
Nov-03	1616		0	0	138	-18	33	1649	90
Dec-03	1491		0	0	136	-15	32	1522	88
Jan-04	1598		0	0	135	-15	36	1624	87
Feb-04	1644		0	0	134	-12	27	1676	87
Mar-04	1170		0	0	134	-14	32	1199	86
Apr-04	1125		0	0	133	-10	20	1163	86
Promedio			0	0	136	-16	24	1695	88

5.0 REFERENCIAS

Jones, M.A., Documentation for Barrick Goldstrike Mine Ground-Water Flow Model, (Documentación para el Modelo del Caudal de Aguas subterráneas de la Mina Goldstrike de Barrick) Informe del consultor, 1998.

Jones, M.A., Documentación for MODFLOW version MAJ5, (Documentación para MODFLOW versión MAJ5) memorando no publicado para Barrick Goldstrike Mine, 1998.

Jones, M.A., Documentación for MODFLOW version MAJ6x5, (Documentación para MODFLOW versión MAJ6x5) memorando no publicado para Barrick Goldstrike Mine, 1999.

Jones, M.A., Lama Hydrologic Model, Turbio/ Canito Basin, Argentina, (Modelo Hidrológico de Lama, Cuenca del Turbio/ Canito, Argentina) Informe del consultor preparado para Barrick Gold Corporation, 13 de abril del 2001.

Jones, M.A., Hydrologic Model of the Upper Río de las Taguas Basin, (Modelo Hidrológico de la Cuenca del Río de Las Taguas Superior) Informe del consultor preparado para Barrick Gold Corporation, 20 de agosto del 2002.

McDonald, M.G., and A.W. Harbaugh, A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, Techniques of Water-Resources Investigations 06-A1, (Un Modelo Modular Tridimensional del Caudal de Aguas Subterráneas de Diferencia Finita, Técnicas de Investigaciones de los Recursos de Aguas 06-A1) USGS, 1988.

Miller, R.S., User's Guide for RIV2 -- A Package for Routing and Accounting of River Discharge for A Modular, Finite-Difference, Ground-Water Flow Model, (Guía del Usuario para RIV2 – Un Paquete para el Trazado y el Registro de la Descarga de Ríos para Un Modelo Modular del Caudal de Aguas Subterráneas de Diferencia Finita) USGS Open-File Report (Informe de Archivo Abierto) 88-345, 1988.

Water Management Consultants, Geology of the Arroyo de Los Despoblados Basin, (Geología de la Cuenca del Arroyo de Los Despoblados) 16 de julio del 2001.

Water Management Consultants, Veladero Project Hydrogeological Summary and Waterbalance, (Resumen Hidrogeológico y Balance de Aguas del Proyecto Veladero) 2002.

Mapas

Barrick 1:100,000 mapa base de la cuenca del Río de las Taguas Superior.

Barrick 1:5,000 mapa base de la cuenca del Turbio / Canito

Barrick Unitop2000 mapa base de las áreas de los proyectos Veladero y Pascua Lama

Barrick mapa geomorfológico de la cuenca del Turbio / Despoblados, 2002

SRK Consultants, Turbio Basin Geology Map, (Mapa de la Geología de la Cuenca del Turbio) 19 de julio del 2000

Golder Associates, Surface Geologic Conditions Map, (Mapa de las Condiciones Geológicas de la Superficie) 7 de mayo del 2002.