

## MEMORANDO

**PARA:** Anton Mayer, MAGSA

**DE:** Michael A. Jones

**FECHA:** 24 de mayo de 2004

**REF:** Evaluación del suministro de agua para los Proyectos Veladero y Pascua-Lama

### Introducción

Este memorando describe la disponibilidad de agua para el suministro de proceso y mina en los alrededores de los Proyectos Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama, bajo condiciones normales y secas. La disponibilidad de agua y los efectos sobre los caudales de aguas locales son proyectados usando un modelo hidrológico de numeración, asumiendo el desarrollo concurrente de los Proyectos.

El modelo hidrológico provee una representación aproximada pero razonable del sistema hidrológico, establecida sobre mediciones tomadas y consistente con la información disponible. Las proyecciones del modelo indican que habrá un adecuado suministro de agua disponible para los Proyectos Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama, bajo condiciones normales y secas.

### Requerimientos de Agua y Puntos de Desvío

La Tabla 1 resume los máximos requerimientos de agua y puntos de desvío.

Tabla 1. Resumen de los Máximos Requerimientos de Agua

<u>Proyectos Veladero y Filo Norte</u>		<u>Proyecto Pascua-Lama</u>	
<u>Origen</u>	<u>caudal (l/s)</u>	<u>Origen</u>	<u>caudal (l/s)</u>
Aguas Superficiales cerca de SW-7	100	Aguas Superficiales cerca de LA-14a	350
Aguas Subterráneas de WSEP01B	10		

La cantidad total de agua requerida para los Proyectos Veladero y Filo Norte es de 110 l/s incluyendo un margen aproximado de seguridad de 25%. Se estima que el requerimiento de agua no presentará variaciones significativas entre años normales y secos ya que el consumo primario de agua se realizará a través de una pila de lixiviación con emisores enterrados, que limitan el consumo de agua por evaporación. El punto de desvío para el suministro de 100 l/s de agua de la pila de lixiviación será una galería de infiltración en el Río de Las Taguas aguas abajo de su confluencia con el Río Potrerillos, que figura en el Plano 1. Además, un pozo cerca del sitio propuesto del Campamento Veladero proveerá 10 l/s de agua potable.

El requerimiento de agua para el proyecto Pascua-Lama es de 350 l/s. El punto de desvío para estas aguas será una galería de infiltración en el Río de las Taguas aguas abajo de su confluencia con el Río Turbio.

## **Disponibilidad de Agua**

### **Aguas Superficiales**

Las Figuras 1a y 1b presentan las mediciones de los caudales de agua registrados cerca de los puntos de desvío propuestos desde diciembre 1998 hasta abril 2004. Los hidrogramas indican un escurrimiento de derretimiento de nieve anual a partir de septiembre, con caudales pico entre octubre y noviembre, finalizando hacia enero.

Además del derretimiento de nieve primaveral, el derretimiento de glaciares que se produce a fin del verano contribuye al caudal en el Arroyo Canito (LA-3) y el Arroyo Turbio (LA-2), aportando a su vez al caudal de los cursos aguas abajo en el Río de Las Taguas (LA-14/SW-17). El caudal de derretimiento de glaciares llega a su pico desde febrero hasta marzo.

Después del derretimiento de nieve en la época primaveral y del derretimiento de glaciares en verano, los caudales de agua disminuyen a un nivel mínimo correspondiente a los niveles de la época invernal (caudal base). Una evaluación de las Figuras 1a, 1b y 1c muestra un caudal base promedio en cinco años de alrededor de 700 l/s en SW-7 (Figura 1a) y de 850 l/s en SW-17 (Figura 1b). Los niveles de los caudales base se incrementan después de años húmedos y gradualmente disminuyen con cada año seco subsecuente.

Se ha observado que el caudal de agua en el área del proyecto presenta cambios en relación con la temperatura. Los caudales menores corresponden a condiciones de congelamiento y los caudales más abundantes generalmente corresponden a condiciones más cálidas. La variabilidad del caudal es máxima durante la temporada de escurrimiento, presentándose disminuciones de los caudales durante la noche, que llegan a un mínimo en la mañana y aumentan durante el día. Durante períodos de temperaturas de congelamiento, se pueden formar puentes de hielo y embalses, pudiendo reducir temporariamente los caudales en cualquiera de los puntos de desvío. Las lecturas de los registradores de datos continuos (datalogger) en LA-3 y las mediciones tomadas manualmente durante el invierno indican que las zonas de menor elevación de los sistemas de Canito/ Turbio y Río de Las Taguas no se congelan totalmente en forma sólida.

### **Aguas Subterráneas**

Las pruebas realizadas en los acuíferos en los pozos WSEP-01b y cerca de LA-3 indican que hay rendimientos sostenidos disponibles de 10 l/s en WSEP-01b y de 15 l/s cerca de LA-3 (WMC, 2002). Existe una posibilidad potencial de incrementar los rendimientos de aguas subterráneas de estas áreas y de desarrollar un suministro de aguas subterráneas en la cuenca de los Despoblados.

## **Proyección de Disponibilidad de Agua y Efectos en Los Caudales de Agua**

Se utilizó un modelo hidrológico desarrollado para el área del proyecto (Jones, 2004) para estimar la disponibilidad de agua en los puntos de desvío y los efectos de un desarrollo de suministro de agua en los cursos de aguas locales. El modelo reproduce los niveles de aguas subterráneas y los caudales de aguas medidos desde mayo 1999 hasta abril 2004 en nueve cuencas ubicadas en los alrededores de los Proyectos Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama. Los caudales de agua simulados por el modelo en la cercanía de los puntos de desvío propuestos están indicados en las Figuras 1a y 1b. El período de calibración del modelo incluye un año seco (mayo 1999 hasta abril 2000), tres años normales (mayo 2000 hasta abril 2002, mayo 2003 hasta abril 2004) y un año húmedo (mayo 2002 hasta abril 2003).

Este documento es una traducción al Español del Memo original en Inglés, “**Evaluation of Water Supply for the Veladero and Filo Norte Projects, 14 May 2004**”. En caso de inconsistencias con el texto original prevalecerá la versión del documento en Inglés

Figura 1a. Caudal Medido y Simulado por el Modelo en Río de las Taguas, arriba del Río Turbio.

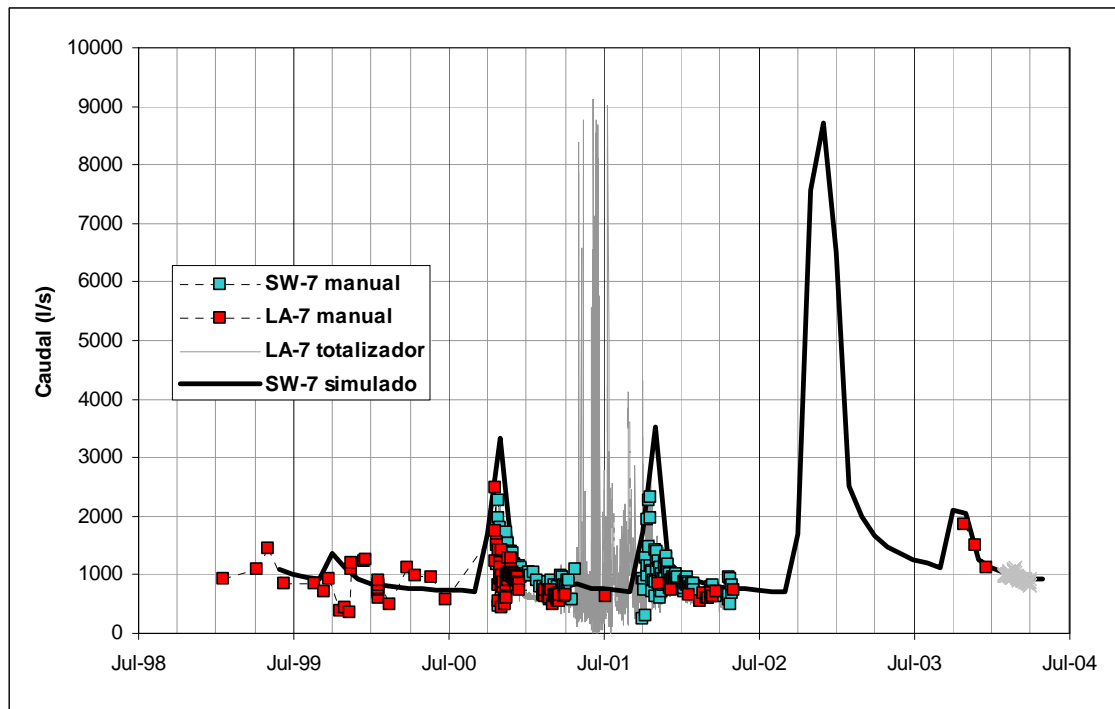
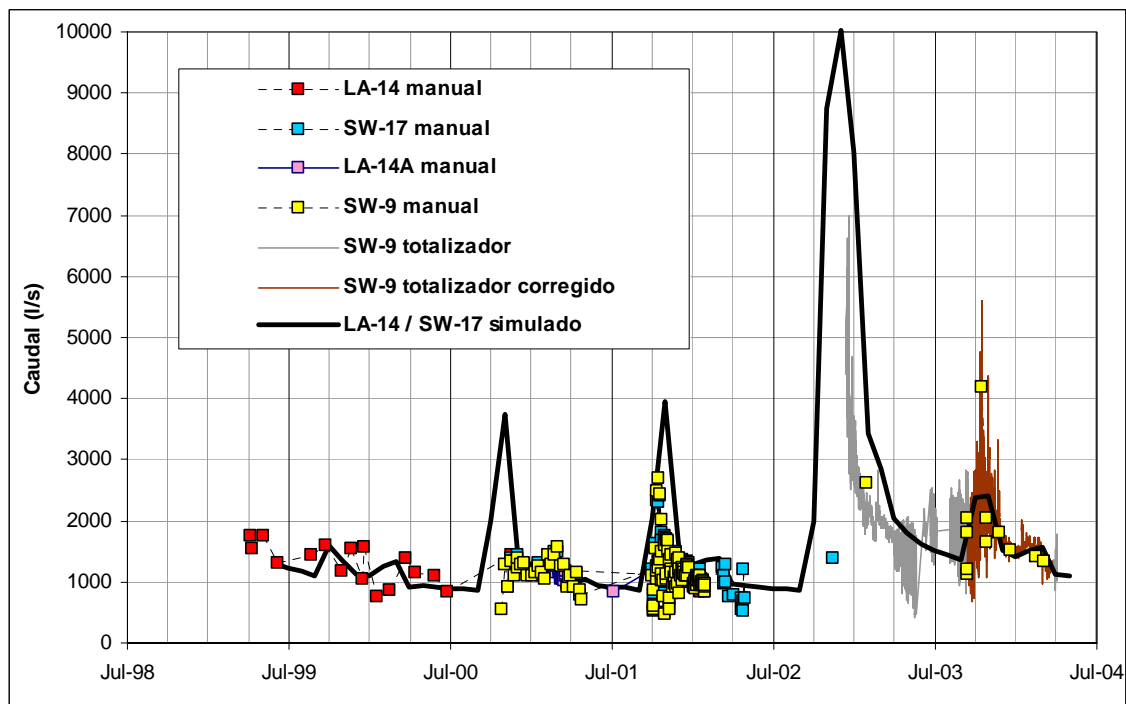


Figura 1b. Caudal Medido y Simulado por el Modelo en Río de las Taguas, debajo del Río Turbio.



## Condiciones Climáticas

Dos condiciones climáticas fueron simuladas: condiciones normales (con un excedente del 50% de la precipitación anual), y condiciones secas (con un excedente del 95% de la precipitación anual). La distribución de la precipitación en el área del proyecto fue estimada sobre la base de la precipitación medida en El Indio (WMC, 2002). La Tabla 2 resume la distribución de la precipitación medida correspondiente a El Indio y la distribución de precipitación estimada correspondiente al área del proyecto. La precipitación durante un año con un excedente del 95% es insuficiente para producir escurrimientos superficiales o recargas de aguas subterráneas.

Se estima que la precipitación anual media para el área del proyecto será de 128 mm para un año normal y de 31 mm para un año seco (WMC, 2002). En comparación, se estima una precipitación anual para el área del proyecto de 88 mm para mayo 1999-abril 2000, 166 mm para mayo 2000-abril 2001, 148 mm para mayo 2001-abril 2002, 475 mm para mayo 2002-abril 2003 y 108 mm para mayo 2003-abril 2004 (Jones, 2004).

Tabla 2. Precipitación Medida y Estimada.

	Medida	Precipitación mensual estimada para las cuencas en el área de estudio (mm)						
	Precipitación mensual El Indio (mm)	Río de Las Taguas	Guanaco				Canito, Arroyo Turbio, Río Turbio	Río de Las Taguas
		Alto	Despoblados	Zonzo	Potrerillos	Turbio	Amarillos	Bajo
año normal (50% excedente)								
Mayo	16,8	20	19	19	19	19	19	17
Junio	22,6	26	26	25	25	25	25	23
Julio	32,5	38	37	36	36	37	36	33
Agosto	23,5	27	27	26	26	26	26	24
Septiembre	8,0	9	9	9	9	9	9	8
Octubre	4,8	6	6	5	5	5	5	5
Noviembre	0,3	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0,2	0	0	0	0	0	0	0
Enero	0,1	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0,2	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	1,0	1	1	1	1	1	1	1
Abril	3,2	4	4	4	4	4	4	3
anual	113,3	132	129	127	127	127	125	114
año seco (95% excedente)								
Mayo	4,0	5	5	5	5	5	4	4
Junio	5,4	6	6	6	6	6	6	5
Julio	7,8	9	9	9	9	9	9	8
Agosto	5,6	7	6	6	6	6	6	6
Septiembre	1,9	2	2	2	2	2	2	2
Octubre	1,2	1	1	1	1	1	1	1
Noviembre	0,1	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0,0	0	0	0	0	0	0	0
Enero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Febrero	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Marzo	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Abril	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
anual	27,2	32	31	30	30	31	30	27
promedio anual, 1981-2003	172	201	195	192	192	193	190	173
Precip proporcional El Indio		1,17	1,14	1,12	1,12	1,12	1,10	1,00

Este documento es una traducción al Español del Memo original en Inglés, “**Evaluation of Water Supply for the Veladero and Filo Norte Projects, 14 May 2004**”. En caso de inconsistencias con el texto original prevalecerá la versión del documento en Inglés

## Infiltración de Agua

Las simulaciones del modelo fueron realizadas asumiendo condiciones normales y condiciones secas, con y sin el desarrollo de suministro de agua para los Proyectos de Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama (en forma concurrente). Como un caso especial, el escenario del desarrollo concurrente de suministro de agua fue evaluado asumiendo un período de tres años secos consecutivos.

La Tabla 1 muestra el uso de agua que fue asumido para las simulaciones, considerando la infiltración de 100 l/s de agua superficial para los Proyectos Veladero y Filo Norte, y 350 l/s para el Proyecto Pascua-Lama, y el bombeo de 10 l/s de aguas subterráneas de WSEP-1b.

## Resultados

Las Figuras 2a y 2b presentan el caudal proyectado en los puntos de desvío bajo condiciones normales y secas, sin el desarrollo del suministro de agua. La Tabla 3 muestra los balances de agua para las cuencas en el área de los proyectos para condiciones normales y la Tabla 4 muestra los valores correspondientes a condiciones secas.

El caudal proyectado en los puntos de desvío bajo condiciones normales y secas, con el concurrente desarrollo del suministro de agua para Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama, se presenta en las Figuras 3a y 3b. Existe un suficiente suministro de agua disponible en el Río de Las Taguas para los proyectos. La Tabla 5 muestra los balances de agua para las cuencas en el área de los proyectos para condiciones normales y la Tabla 6 muestra los valores correspondientes a condiciones secas. El caudal de agua superficial de la cuenca del Taguas Inferior se reduce en 460 l/s, que es la cantidad de agua usada por los proyectos. El caudal más bajo proyectado durante un año seco en la cuenca del Taguas Inferior es de 286 l/s.

La Figura 4 presenta el caudal proyectado en el Río de Las Taguas Inferior bajo tres años consecutivos de condiciones secas, con y sin el desarrollo del suministro de agua para Veladero, Filo Norte y Pascua-Lama. El caudal base disminuye con cada año seco sucesivo, pero se mantiene suficiente para proveer agua para ambos proyectos. El caudal más bajo proyectado durante un año seco en la cuenca del Taguas Inferior es de 112 l/s.

Figura 2a. Caudal proyectado en SW-7/LA-7 sin el Desarrollo del Suministro de Agua

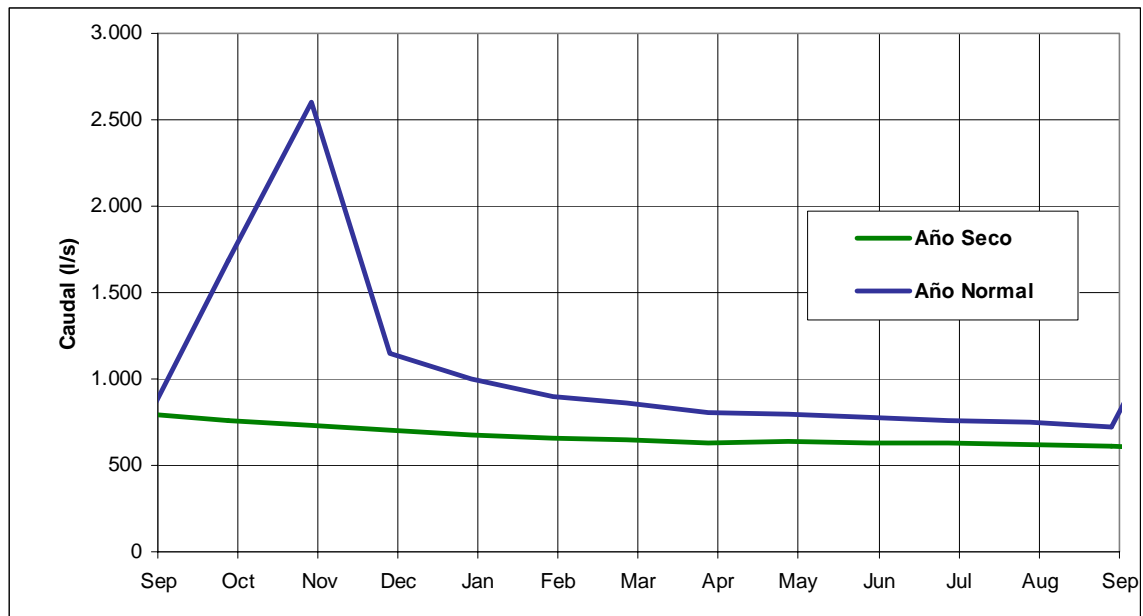


Figura 2b. Caudal proyectado en SW-17 sin el Desarrollo del Suministro de Agua

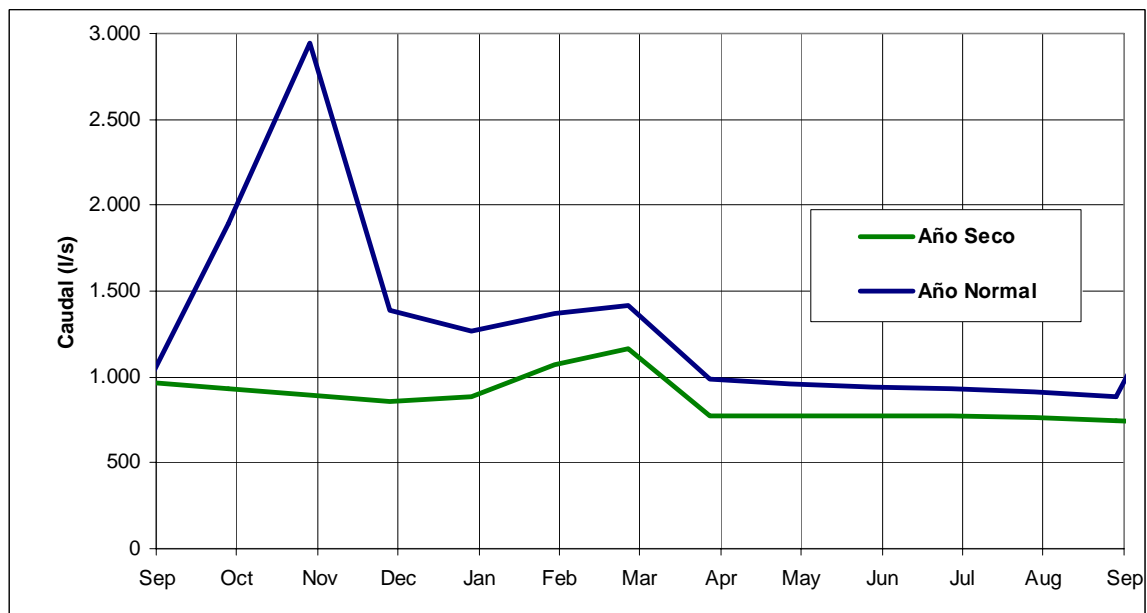


Tabla 3. Balances de Aguas Proyectados de las cuencas sin el Desarrollo del Suministro de Agua, Año Normal.

(l/s)	Entrada					Almacenaje	Salida			Totales		
	Entrada de Aguas Superficiales	Derretimiento de Glaciares	Escurrimiento a Aguas Superficiales	Recarga de Aguas Subterráneas	Entrada de Aguas Subterráneas	Cambios en Almacenaje de Aguas Subterráneas	Aguas Subterráneas ET	Descarga de Aguas Superficiales	Salida de Aguas Subterráneas	Total Entrada	Cambios en Almacenaje	Total Salida
Las Taguas Alto	0	0	49	194	27	-96	25	276	64	270	-96	365
Despoblados	0	0	162	377	32	-199	50	669	51	571	-199	770
Guanaco Zonzo	0	0	11	44	1	-19	9	56	9	55	-19	74
Potrerosillos	0	0	5	22	2	-21	8	36	5	29	-21	49
Canito	0	64	0	85	14	-13	16	144	16	162	-13	176
Arroyo Turbio	0	48	10	42	21	-23	16	106	22	121	-23	143
Río Turbio	250	0	1	5	13	3	1	249	16	269	3	266
Amarillos	0	16	11	103	6	-29	6	102	58	137	-29	166
Las Taguas Bajo	1.316	0	0	2	136	-8	23	1.353	86	1454	-8	1.462

Tabla 4. Balances de Aguas Proyectados de las cuencas sin el Desarrollo del Suministro de Agua, Año Seco.

(l/s)	Entrada					Almacenaje	Salida			Totales		
	Entrada de Agua Superficiales	Derretimiento de Glaciares	Escurrimiento a Aguas Superficiales	Recarga de Aguas Subterráneas	Entrada de Aguas Subterráneas	Cambios en Almacenaje de Aguas Subterráneas	Aguas Subterráneas ET	Descarga de Aguas Superficiales	Salida de Aguas Subterráneas	Total Entrada	Cambios en Almacenaje	Total Salida
Las Taguas Alto	0	0	0	0	26	-214	17	160	63	26	-214	240
Despoblados	0	0	0	0	32	-516	42	456	51	32	-516	548
Guanaco Zonzo	0	0	0	0	1	-47	7	33	8	1	-47	48
Potrerosillos	0	0	0	0	1	-40	8	28	5	1	-40	41
Canito	0	64	0	13	14	-42	13	106	13	91	-42	132
Arroyo Turbio	0	48	0	0	19	-56	15	87	21	67	-56	123
Río Turbio	193	0	0	0	13	1	1	188	15	205	1	204
Amarillos	0	16	0	0	6	-72	2	38	55	22	-72	95
Las Taguas Bajo	744	0	0	0	132	-9	23	778	84	877	-9	886

Figura 3a. Caudal proyectado en SW-7/LA-7 con el Desarrollo del Suministro de Agua.

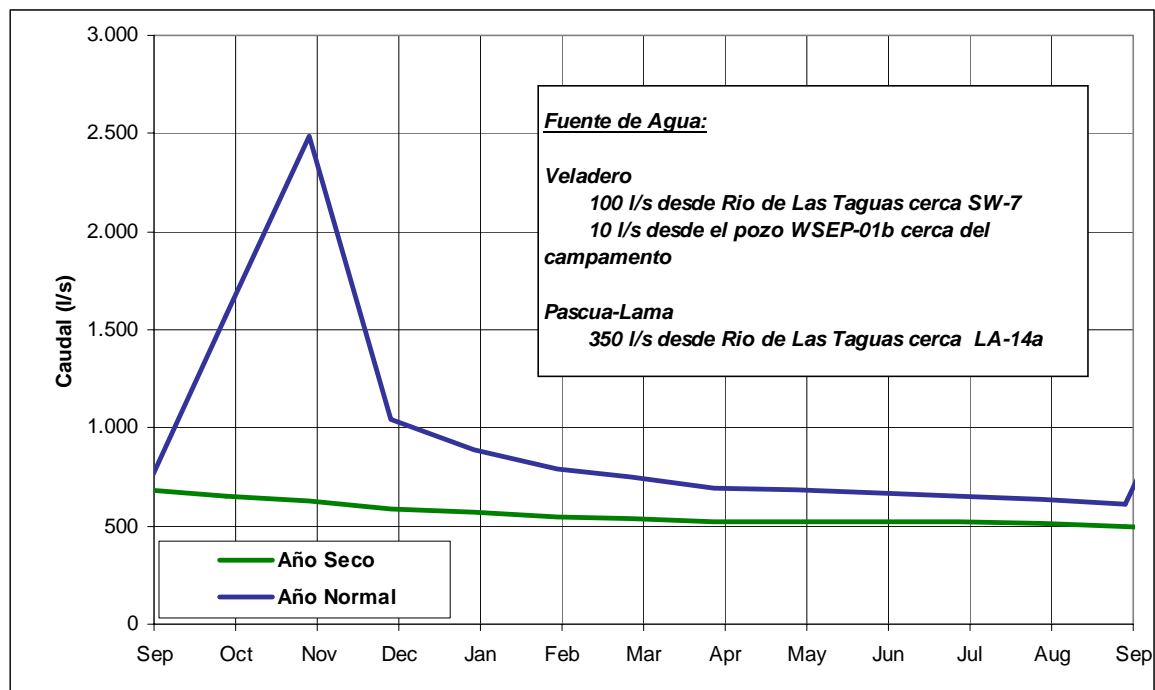


Figura 3b. Caudal proyectado en SW-17 con el Desarrollo del Suministro de Agua.

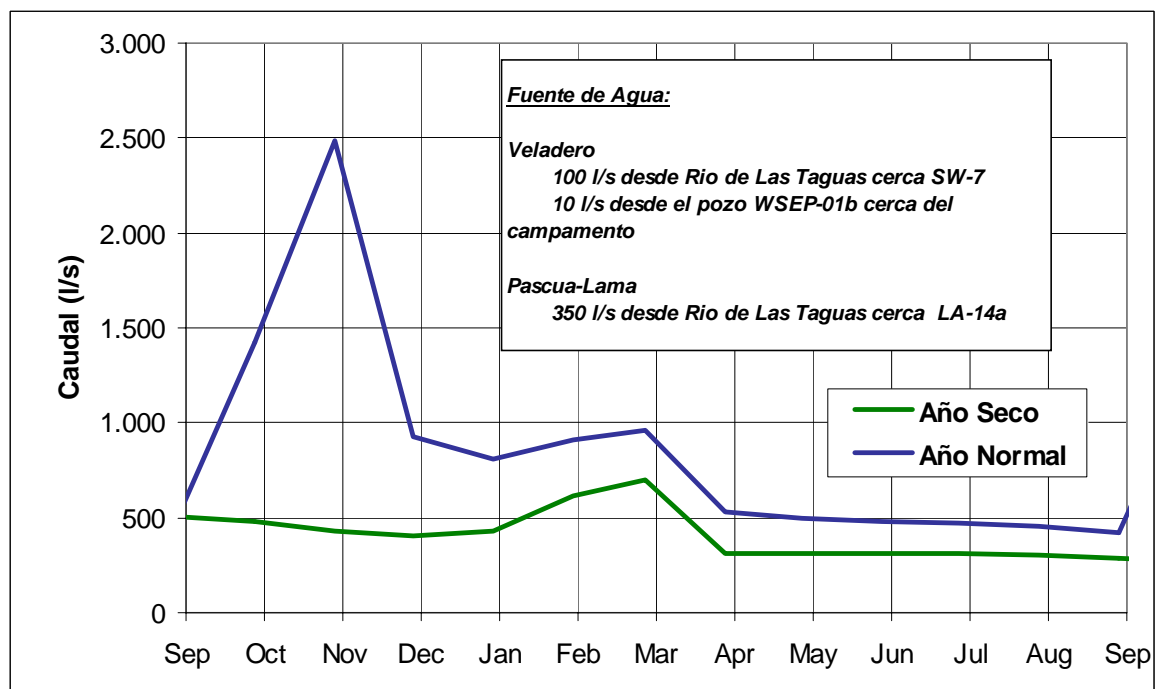




Tabla 5. Balances de Aguas Proyectados de las cuencas con el Desarrollo del Suministro de Agua, Año Normal.

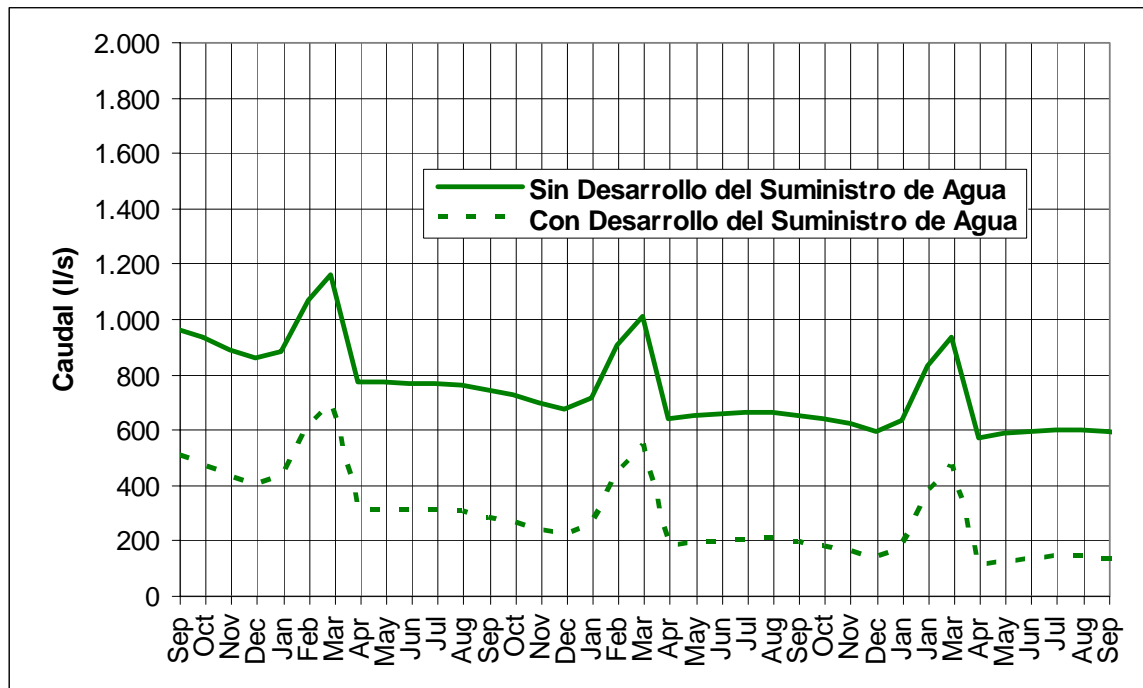
(l/s)	Entrada					Almacenaje	Salida					Totales		
	Entrada de Aguas Superficiales	Derretimiento de Glaciares	Escurrimiento a Aguas Superficiales	Recarga de Aguas Subterráneas	Entrada de Aguas Subterráneas	Cambios en Almacenaje de Aguas Subterráneas	Aguas Subterráneas ET	Descarga de Aguas Superficiales	Salida de Aguas Subterráneas	Desviación de Aguas Superficiales	Bombeo de Aguas Subterráneas	Total Entrada	Cambios en Almacenaje	Total Salida
Las Taguas Alto	0	0	49	194	27	-96	25	274	67			270	-96	366
Despoblados	0	0	162	377	36	-199	50	665	49		10	574	-199	773
Guanaco Zonzo	0	0	11	44	1	-19	9	56	9			55	-19	74
Potrerrillos	0	0	5	22	2	-21	8	36	5			29	-21	49
Canito	0	64	0	85	14	-13	16	144	16			162	-13	176
Arroyo Turbio	0	48	10	42	21	-23	16	106	22			121	-23	143
Río Turbio	250	0	1	5	13	3	1	249	16			269	3	266
Amarillos	0	16	11	103	6	-29	6	102	58			137	-29	166
Las Taguas Bajo	1.309	0	0	2	133	-8	23	893	86	450		1.444	-8	1.452

Tabla 6. Balances de Aguas Proyectados de las cuencas con el Desarrollo del Suministro de Agua, Año Seco.

(l/s)	Entrada					Almacenaje	Salida					Totales		
	Entrada de Aguas Superficiales	Derretimiento de Glaciares	Escurrimiento a Aguas Superficiales	Recarga de Aguas Subterráneas	Entrada de Aguas Subterráneas	Cambios en Almacenaje de Aguas Subterráneas	Aguas Subterráneas ET	Descarga de Aguas Superficiales	Salida de Aguas Subterráneas	Desviación de Aguas Superficiales	Bombeo de Aguas Subterráneas	Total Entrada	Cambios en Almacenaje	Total Salida
Las Taguas Alto	0	0	0	0	27	-214	17	158	66			27	-214	241
Despoblados	0	0	0	0	35	-516	42	451	48		10	35	-516	551
Guanaco Zonzo	0	0	0	0	1	-47	7	33	8			1	-47	48
Potrerrillos	0	0	0	0	1	-40	8	28	5			1	-40	41
Canito	0	64	0	13	14	-42	13	106	13			91	-42	132
Arroyo Turbio	0	48	0	0	19	-56	15	87	21			67	-56	123
Río Turbio	193	0	0	0	13	1	1	188	15			205	1	204
Amarillos	0	16	0	0	6	-72	2	38	55			22	-72	95
Las Taguas Bajo	738	0	0	0	129	-9	23	319	84	450		867	-9	876

Este documento es una traducción al Español del Memo original en Inglés, “**Evaluation of Water Supply for the Veladero and Filo Norte Projects, 14 May 2004**”. En caso de inconsistencias con el texto original prevalecerá la versión del documento en Inglés

Figura 4. Caudal proyectado en SW-17 con el Desarrollo del Suministro de Agua, Tres Años Secos Consecutivos.



## Referencias

Jones, M.A. 10 mayo 2004, “Hydrologic Model of the Upper Río de las Taguas Basin, 2004 Update” (Modelo Hidrológico de la cuenca del Río de las Taguas Superior, Actualización 2004), informe de consulta.

Water Management Consultants, 2002, “Hydrogeological Summary and Water Balance” (Resumen Hidrogeológico y Balance de Aguas), informe de consulta.