

APÉNDICE C9-II
Condiciones Hidrológicas

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
C9-II.1 CAMBIOS EN EL ÁREA DE DRENAJE.....	1
C9-II.1.1 Fase de Construcción	1
C9-II.1.2 Fase de Operaciones.....	1
C9-II.1.3 Fases de Cierre y Post-Cierre.....	5
C9-II.2 DERIVACIÓN DE FLUJOS	7
C9-II.2.1 Fase de Construcción	7
C9-II.2.2 Fase de Operación.....	7
C9-II.2.3 Fase de Cierre.....	7
C9-II.2.4 Fase de Post-Cierre	8
C9-II.3 HALLAZGOS DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO	9
C9-II.3.1 Fase de Construcción	9
C9-II.3.2 Fase de Operación.....	9
C9-II.3.2.1 Desagüe del Tajo.....	9
C9-II.3.2.2 Construcción de la Pila de Lixiviación.....	10
C9-II.3.3 Fase de Cierre y Post-Cierre	10

C9-II.1 CAMBIOS EN EL ÁREA DE DRENAJE

C9-II.1.1 Fase de Construcción

Durante la fase de construcción del Proyecto se utilizarán drenajes temporales y derivaciones de flujo para la construcción. Por ejemplo, las derivaciones temporales de flujo serán requeridas para construir los reservorios en la Laguna Pozo Hondo, Laguna Negra y la poza de limpieza. Estas actividades de construcción serán llevadas a cabo durante la época de estiaje. Las derivaciones de flujo serán de corto plazo, sólo durante el período de construcción. El impacto generado por estas actividades en las condiciones de flujo en los ríos será insignificante (el impacto en la calidad del agua se trata en la Sección C9.3.6.5).

Se construirán en la fase de construcción diversos canales de derivación temporales y permanentes que servirán para las operaciones del Proyecto. Los canales permanentes son aquellos que permanecerán durante toda la vida del Proyecto y al cierre. Los canales temporales son aquellos que permanecerán por un período limitado de tiempo (varios años) durante las operaciones de la mina, pero que serán subsecuentemente destruidos como resultados de la expansión del Proyecto o del cierre.

C9-II.1.2 Fase de Operaciones

Durante la fase de operaciones existirán cuatro fases con respecto al desarrollo de la pila de lixiviación. Se ha diseñado un sistema de canales de derivación y pozas de colección para Alto Chicama, principalmente para manejar la calidad del agua, minimizar los requerimientos de agua y separar el agua de contacto del agua sin contacto (Golder 2003w).

Debido a la complejidad del sistema de manejo de aguas en el sitio, es probable que existan derivaciones de flujo simultaneas desde/hacia una determinada cuenca. Por lo tanto, se debe considerar el efecto acumulativo de todas las obras del Proyecto relevantes al área de drenaje. Las derivaciones de flujo clave asociadas al Proyecto Alto Chicama son las siguientes:

- Expansión y desagüe del tajo abierto;
- Revestimiento de la pila de lixiviación y las derivaciones de flujo alrededor de la pila de lixiviación; y
- Derivaciones alrededor del botadero de desmonte este.

A medida que el tajo abierto se expande, se modificarán los límites entre la cuencas de drenaje del Río Negro y el Río Chuyuhual. La escorrentía proveniente de las paredes del tajo será recolectada dentro del tajo abierto y será bombeada hacia la poza de sedimentación este o a la poza de sedimentación oeste tal como se muestra en la Tabla C9-1.

La extensión de las áreas de drenaje afectadas variará a lo largo de la vida operacional de la mina, tal como se muestra en la Tabla C9-1. Se pueden realizar las siguientes observaciones en base a la Tabla C9-1:

- La mayor parte del agua del tajo será dirigida hacia la poza de sedimentación este (es decir, contribuirá a la cuenca de la Quebrada Laguna Negra). La máxima descarga hacia la poza de sedimentación oeste se estima en 10% del total del agua del tajo. Hacia el final de la operación de la mina, toda el agua del tajo será descargada hacia la poza de sedimentación este.
- El desarrollo del tajo ocasionará la transferencia de agua desde el Río Negro (cuenca del Río Perejil) hacia la Quebrada Laguna Negra (cuenca del Río Chuyuhual). Se estima que la máxima área de drenaje que será derivada de una cuenca a otra es 0,2 km², la cual representa una pequeña fracción del área de drenaje de ambos ríos.
- Dentro de la cuenca del Río Chuyuhual, se transferirá agua desde Quebrada Las Vizcachas hacia la Quebrada Laguna Negra. Se estima que la máxima transferencia asociada con el desagüe del tajo abierto será de 0,4 km² (aproximadamente el 4% del área de drenaje de la Quebrada Las Vizcachas).

El área de la pila de lixiviación se incrementará a lo largo de toda la vida del Proyecto, desde aproximadamente 1,2 km² hasta 2 km². El área con cubiertas de lluvia se incrementará desde un estimado de 35%, al inicio del Proyecto, hasta aproximadamente 60% hacia el final del Proyecto. Por lo tanto, el área máxima que se perderá para la infiltración se estima en 2 km², sin embargo, el área máxima que se perderá para la contribución de escorrentía será de 0,8 km² (2 km² × 40% de la pila sin cubiertas de lluvia).

No se permitirá que la escorrentía superficial proveniente del área de la pila de lixiviación descargue al ambiente. A fin de reducir la cantidad de agua que requiere tratamiento, una parte de la pila de lixiviación será cubierta con “cubiertas de lluvia” (es decir, cubiertas impermeables), las cuales evitan que la lluvia caída entre en contacto con contaminantes conduciendo la escorrentía superficial generada hacia la Quebrada Laguna Negra para su posterior descarga al ambiente.

Tabla C9-II-1 Resumen de Área de Drenaje Transferidas entre Cuencas Asociadas con el Desagüe del Tajo Durante la Vida del Proyecto Alto Chicama

Fase	Año	Drenaje Natural – Removido de la Cuenca				Desagüe del Tajo – Enviado Hacia las Cuencas						Transferencias entre Cuencas		Total de Agua de Mina Dirigida a Qda. Laguna Negra
		Área del Tajo Removida de la Cuenca del Río Perejil	Área del Tajo Removida de la Cuenca del Río Chuyuhual		Área Total del Tajo	Área de las Paredes del Tajo Derivada Hacia la Poza de Sed. Oeste	Área de las Paredes del Tajo derivada Hacia la Poza de Sed. Oeste	Área de las Paredes del Tajo Derivada Hacia la Poza de Colección	Área de Drenaje Total	Hacia la Poza de Sed. Oeste	Hacia la Poza de Sed. Este	Removida del Río Perejil	Removida de Qda Las Vizcachas	
			Desde Qda Las Vizcachas	Desde Qda. Laguna Negra		Hacia la Cuenca del Río Perejil	Hacia la cuenca del Río Chuyuhual (Qda. Laguna Negra)			Hacia la Cuenca del Río Perejil	Hacia la Cuenca de Qda. Laguna Negra			
km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	%	%	%	%	km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	
1	2005	0,03	0,05	0,14	0,2	0%	100%	0%	100%	0,00	0,22	0,03	0,05	0,08
2	2007	0,14	0,15	0,65	0,9	5%	95%	0%	95%	0,05	0,89	0,09	0,15	0,24
3	2009	0,15	0,30	0,76	1,2	10%	50%	40%	90%	0,12	1,10	0,03	0,30	0,34
4	2013	0,23	0,40	0,89	1,5	0%	0%	100%	100%	0,00	1,52	0,23	0,40	0,64

Fuente: Golder 2003w

Debido a la presencia “cubiertas de lluvia”, el efecto del revestimiento de la pila de lixiviación y la impermeabilización tendrán un efecto diferente en el flujo de la época de estiaje y de la época de lluvia (por ejemplo, no habrá infiltración a través de toda el área de la pila pero habrá escorrentía proveniente de la parte de la pila con “cubiertas de lluvia” durante las tormentas). Asimismo, se espera que la escorrentía que se genera en las “cubiertas de lluvia” sea algo mayor que si se generará en el terreno natural. Estos aspectos hidrológicos del manejo de agua en la pila de lixiviación está detallados en el modelo del balance de agua (Golder 2003w). El balance entre las áreas de drenaje provee una indicación de la dirección global del impacto.

Se construirán también derivaciones de flujo alrededor de la pila de lixiviación para impedir el flujo de la escorrentía natural hacia el área de la pila. Aun cuando se podrían afectar algunas áreas pequeñas alrededor de la pila, esto no afectará las condiciones de flujo en Quebrada Laguna Negra.

Se construirá también una derivación alrededor del botadero de desmonte este, la cual estará ubicada en su totalidad dentro de la cuenca del Río Chuyuhual. Por lo tanto, no habrán derivaciones entre las cuencas de los ríos principales. El canal de derivación del botadero de desmonte este ocasionará la transferencia de agua desde las cuencas de Quebrada Quishuara Sur, Quebrada Quishuara Norte y Quebrada Las Vizcachas hacia la cuenca de Quebrada Laguna Negra. Se producirán las siguientes derivaciones de áreas drenaje alrededor del botadero de desmonte este:

- Quebrada Las Vizcachas perderá aproximadamente 0,04 km² de su cuenca;
- Quebrada Quishuara Norte perderá aproximadamente 0,1 km² de su cuenca;
- Quebrada Quishuara Sur perderá aproximadamente 0,65 km² de su cuenca; y
- Quebrada Laguna Negra ganará un total de aproximadamente 0,8 km² para su cuenca (la suma de las áreas transferidas mencionadas anteriormente).

En resumen, se producirán las siguientes derivaciones de cuencas durante la fase de operaciones del Proyecto Alto Chicama:

- Río Negro perderá un estimado de 0,2 km² como resultado de las operaciones del tajo;
- Quebrada Quishuara Norte perderá un estimado de 0,1 km² de su cuenca debido a la derivación alrededor del botadero de desmonte este;
- Quebrada Quishuara Sur perderá un estimado de 0,65 km² de su cuenca debido a la derivación alrededor del botadero de desmonte este;
- Quebrada Las Vizcachas perderá un estimado de 0,44 km² de su cuenca, 90% debido al desagüe del tajo y 10% debido a la derivación alrededor del botadero de desmonte este;

- Quebrada Laguna Negra perderá un estimado de 1,4 km² contribuyentes al flujo de la época de estiaje (la pérdida de los 2 km² del área revestida se compensa con los 0,6 km² que gana por el desagüe del tajo). La Quebrada Laguna Negra ganará un estimado de 0,6 km² en su cuenca para los flujos de la época de lluvias (0,8 km² por el botadero del desmonte este y 0,6 km² por el desagüe del tajo, menos 0,8 km² del área sin “cubiertas de lluvia” de la pila de lixiviación).
- Río Chuyuhual perderá 2 km² para la infiltración (flujo de la época de estiaje) debido al aislamiento de la pila de lixiviación y 1 km² de la cuenca para el flujo de la época de lluvia. Los restantes 1 km² se compensan con los 0,2km² del Río Negro y 0,8 km² de la escorrentía proveniente de las “cubiertas de lluvia”).
- El balance de la derivación de áreas de drenaje provee una indicación de la dirección de los cambios hidrológicos (es decir, la pérdida de área de drenaje es un indicativo de la reducción del flujo). Este balance podría ser el fundamento para la evaluación de los flujos promedio anuales, pero no es suficiente para estimar los cambios reales en las características específicas del flujo (es decir, flujos mensuales, flujo base) debido a la complejidad del sistema de manejo de aguas de Alto Chicama. Por lo tanto, los flujos de los ríos simulados usando el modelo de balance de agua fueron utilizados para la evolución numérica del impacto.

Las transferencias netas de áreas de drenaje a lo largo de la vida del Proyecto, incluyendo las condiciones de operación de la mina, se resumen para varios lugares en la Tabla C9-II-1 del Apéndice C9-II.

C9-II.1.3 Fases de Cierre y Post-Cierre

Desde el punto de vista de la derivación de áreas de drenaje y su impacto en la hidrología, las fases de cierre y post-cierre del Proyecto se pueden combinar.

Los cambios principales en las áreas de drenaje superficial que ocurrirán al cierre incluyen lo siguiente:

- El sistema de manejo de agua del tajo abierto cesará su operación. Por lo tanto, no habrán transferencias de agua desde el tajo abierto hacia la Quebrada Laguna Negra debido al desagüe del tajo.
- El tajo abierto será inundado. Por lo tanto, se formará una nueva laguna en el lugar donde actualmente se ubica de la divisoria de cuencas entre el Río Negro y el Río Chuyuhual. El área total inundada se estima en 28 ha, de las cuales aproximadamente 23 ha estarán ubicadas en la cuenca del Río Chuyuhual y las restantes 5 ha en la cuenca del Río Negro. En la cuenca del Río Chuyuhual, aproximadamente 5 ha del área inundada estarán ubicadas en la cuenca de Quebrada Las Vizcachas y las restantes 23 ha en la cuenca de Quebrada Laguna Negra.
- El canal de derivación alrededor del botadero de desmonte este permanecerá en su lugar. Por lo tanto, continuar la transferencia de flujo en la cabecera de la cuenca del Río Chuyuhual, desde Quebrada Las Vizcachas, Quebrada Quishuara Sur y Quebrada Quishuara Norte hacia Quebrada Laguna Negra.

- La pila de lixiviación será cubierta con suelo, renivelada y revegetada. La lluvia sobre la antigua superficie de la pila de lixiviación generará escorrentía, sin embargo, el revestimiento impermeable ubicado en la base de la pila permanecerá, de manera que la infiltración y la recarga subterránea será reducida. La evaluación cuantitativa de los cambios en el sistema de agua subterránea se detalla como parte del análisis hidrogeológico (Golder 2003d). Para propósitos de los cálculos del balance de áreas de drenaje, se ha asumido que el área de la pila de lixiviación se incorpora nuevamente a la cuenca de la Quebrada Laguna Negra.

En base a lo anteriormente descrito, el sistema de drenaje superficial al cierre puede ser resumido en lo siguiente:

- El área de drenaje de Quebrada Laguna Negra será mayor en aproximadamente 0,8 km² con respecto a las condiciones de línea base antes de la explotación.
- Quebrada Quishuara Sur perderá un estimado de 0,65 km² de su cuenca, debido a la derivación alrededor del botadero de desmonte este.
- Quebrada Quishuara Norte perderá un estimado de 0,1 km² de su cuenca, debido a la derivación alrededor del botadero de desmonte este.
- Quebrada Las Vizcachas perderá un estimado de 0,05 km² de su cuenca, debido a la derivación alrededor del botadero de desmonte este.
- Se formará una nueva laguna en la cabecera del Río Negro y del Río Chuyuhual, en el lugar donde se ubica la actual divisoria de cuencas entre estos dos ríos. El impacto de esta laguna en las condiciones hidrológicas de los ríos cercanos se extiende más allá del balance de áreas de drenaje. En términos de la escorrentía de la época de lluvia, el Río Negro perderá aproximadamente 0,05 km² debido al rebose de la laguna, en caso hubiera, hacia la cuenca de la Quebrada Laguna Negra.
- El Río Chuyuhual ganará 0,05 km², los cuales corresponden a la superficie de la laguna que se ubica en la cuenca del Río Negro.

La transferencia neta de áreas de drenaje a lo largo de la vida del Proyecto, incluyendo las condiciones de cierre y post-cierre, en varios lugares se resumen la Tabla C9-II-1 del Apéndice C9-II.

C9-II.2 DERIVACIÓN DE FLUJOS

C9-II.2.1 Fase de Construcción

Para los propósitos de esta discusión, se considera que la fase de construcción del Proyecto ocurre durante el periodo comprendido entre la segunda mitad del año 2004 y la primera mitad del año 2005. La mayor de transferencia de flujo durante ese tiempo será el llenado del reservorio agua fresca (Laguna Pozo Hondo). Se construirá una represa impermeable en Laguna Pozo Hondo para crear un reservorio. Adicionalmente a la colección de la escorrentía natural de la cuenca, se bombeará agua desde la Laguna Negra hacia la Laguna Pozo Hondo.

El bombeo se llevará a cabo solamente durante el periodo de lluvias. La tasa de bombeo es de 300 m³/h (0,083 m³/s). A modo de comparación el flujo mensual promedio estimado en Quebrada Laguna Negra en la confluencia con el Río Chuyuhual en febrero y marzo es aproximadamente 0,43 m³/s (Golder 2003f). Por lo tanto, aproximadamente 20% a 40% del flujo se transferirá desde Quebrada Laguna Negra hacia la Laguna Pozo Hondo. El flujo en Quebrada Laguna Negra en la estación de lluvias 2004-2005 decrecerá correspondientemente (el flujo decrecerá debido a la transferencia de agua, así como por la captura de la escorrentía en una porción de la cuenca). El nivel del agua en Laguna Pozo Hondo se incrementará.

C9-II.2.2 Fase de Operación

Para los propósitos de esta discusión, se considera que la fase de operación del Proyecto ocurrirá durante el periodo comprendido entre el año 2005 y el año 2013. Las siguientes actividades de bombeo se llevarán a cabo durante las operaciones:

- el desagüe del tajo y el sistema de manejo de agua del tajo operarán, lo que tendrá como consecuencia tanto una transferencia de área de drenaje como una transferencia de agua; y
- la pila de lixiviación será aislada de la cuenca de Quebrada Laguna Negra. El aislamiento de la pila de lixiviación se discute en términos de transferencia de área de drenaje.

C9-II.2.3 Fase de Cierre

Para los propósitos de esta discusión, se considera que la fase de cierre del Proyecto ocurre durante el periodo comprendido entre el año 2014 y el año 2018. Se llevarán a cabo las siguientes actividades clave de bombeo:

- Concluirán las actividades de minado. Por lo tanto el desagüe del tajo y el sistema de manejo de agua de mina dejará de operar y el tajo comenzará a llevarse con agua;
- Se colocará la cubierta de suelo en la pila de lixiviación. Por lo tanto, la escorrentía superficial de la pila de lixiviación comenzará a contribuir a la Quebrada Laguna Negra; y

- Se tratará gradualmente el agua de proceso que se infiltra a través de la pila de lixiviación y se descargará al ambiente. La tasa propuesta de descarga del agua tratada es de 200 m³/h (0,055 m³/s) durante los meses de lluvia y de 100 m³/s (0,028 m³/s) durante los meses de transición. Como comparación, el flujo estimado en la Quebrada Laguna Negra en la confluencia con el Río Chuyuhual es aproximadamente 0,43 m³/s durante los meses de lluvia (es decir, febrero y marzo) y 0,17 m³/s durante los meses de transición (es decir, mayo).

C9-II.2.4 Fase de Post-Cierre

Para los propósitos de esta discusión, se considera que la fase de post-cierre del Proyecto ocurre luego del año 2018. El cambio clave en la fase de post-cierre comparada con la fase de cierre, en términos de impactos en el flujo de los cursos de agua adyacentes, es que la pila de lixiviación será completamente drenada. La descarga del agua de proceso tratada (200 m³/h durante los meses de lluvia y 100 m³/h durante los meses de transición, como se discutió anteriormente) será discontinuada. Por lo tanto, el flujo mensual durante los meses de lluvia en los cursos receptores decrecerá de manera correspondiente.

C9-II.3 HALLAZGOS DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

Se llevó a cabo un estudio hidrogeológico detallado (Golder 2003d). El estudio incluyó las contribuciones existentes de agua subterránea hacia los cursos de agua locales así como los cambios potenciales en las condiciones de agua subterránea a lo largo de la vida del Proyecto, desde la construcción hasta el cierre. Los hallazgos clave del estudio hidrogeológico se resumen a continuación.

C9-II.3.1 Fase de Construcción

El estudio hidrogeológico no identificó temas de preocupación significativos con respecto las condiciones del agua subterránea durante la fase de construcción. El mayor riesgo relacionado al agua subterránea en esta fase proviene de los derrames de productos químicos o petróleo. Estos impactos pueden ser minimizados usando buenas prácticas de manejo para transporte, almacenamiento y limpieza de estos materiales. No se identificaron impactos negativos significativos en los regímenes del flujo del agua subterránea que podrían afectar las condiciones de flujo en la época de estiaje.

C9-II.3.2 Fase de Operación

El desagüe del tajo y la impermeabilización de la pila de lixiviación son las actividades clave que afectan las condiciones del flujo del agua subterránea y, por lo tanto, también afectan el flujo de los ríos en la época de estiaje.

C9-II.3.2.1 Desagüe del Tajo

El desagüe del tajo afectará los cursos de agua adyacentes mediante la reducción del flujo base de agua subterránea en aproximadamente el equivalente a la tasa de equilibrio del desagüe del tajo (9 l/s) durante el último año de minado. En base al modelamiento del agua subterránea llevado a cabo por Piteau, este flujo representaría la siguiente reducción potencial en el flujo base de los cursos de agua adyacentes:

- Río Negro – reducción de flujo base en 1,7 l/s
- Quebrada Laguna Negra – reducción de flujo base en 7,1 l/s
- Quebrada Las Vizcachas – reducción de flujo base en 0,1 l/s

Los efectos de la reducción del flujo base en la Quebrada Laguna Negra serán compensados completamente por las descargas provenientes del sistema de manejo de aguas del Proyecto. La

reducción del flujo base en el Río Negro será compensado por la eliminación de áreas de alto potencial de evapotranspiración en los bofedales extensos ubicados por debajo del botadero de desmonte oeste, en donde se calcula que la pérdida por evaporación durante la época de estiaje llega hasta 3 l/s. Los efectos de reducción del flujo base en la Quebrada Las Vizcachas son insignificantes (menores a 1%).

Se debe remarcar que los resultados expuestos no caracterizan el efecto neto del Proyecto en las quebradas, sino sólo los efectos asociados con el desagüe del tajo. Por ejemplo la porción del flujo base removido de la Quebrada Laguna Negra debido al desagüe del tajo (7,1 l/s mencionado anteriormente) será devuelto a la quebrada a través del sistema de manejo de agua del tajo. Adicionalmente habrán otras actividades del Proyecto que afectarán las condiciones de flujo base en la Quebrada Laguna Negra. Por lo tanto, los resultados de la evaluación hidrogeológica complementaron la evaluación del impacto sobre el flujo base, pero no reflejaron el efecto neto del Proyecto en el flujo base.

C9-II.3.2.2 Construcción de la Pila de Lixiviación

A pesar que la pila de lixiviación será revestido con material de baja permeabilidad, se presentará algo de filtración a través del revestimiento. La filtración a través del revestimiento se estimó en aproximadamente 3 m³/año. Si bien la infiltración a través del revestimiento es importante para la evaluación de calidad del agua, desde el punto de vista del caudal, un flujo de 3 m³/año es insignificante. Por lo tanto, para los propósitos de la evaluación de impacto hidrogeológico se considera que el área de la pila de lixiviación no contribuye al flujo en la estación de estiaje.

C9-II.3.3 Fase de Cierre y Post-Cierre

Al cierre, el tajo inundado será una fuente de filtración, la cual conllevará a un aumento del flujo base. La filtración desde el tajo inundado y las contribuciones a los cursos de agua adyacentes se estimó en los estudios hidrogeológicos como:

- Río Negro – aumento del flujo base en 3,9 l/s
- Quebrada Laguna Negra – aumento del flujo base en 35,4 l/s
- Quebrada Las Vizcachas – aumento del flujo base en 0,1 l/s

El revestimiento de la pila se mantendrá al cierre. Por lo tanto, no habrá contribución al flujo base de la época de estiaje desde el área de la pila de lixiviación.