

IV. ELEMENTOS PARA EL BALANCE HÍDRICO EN LA CORTA DE AZNALCÓLLAR

Desde el punto de vista hídrico la inundación de la corta de Aznalcóllar está lejos de alcanzar su equilibrio, ya que hay una entrada de agua (la que se bombea desde la balsa de escorrentía), y una salida (la que se extrae por bombeo de la corta para llevarla a la planta de tratamiento) que son producto de la gestión de las aguas en el entorno minero. La acción determinante en relación con el nivel que tiene el agua en la corta es el bombeo para su extracción, el cual se ajusta al objeto de cumplir la imposición de mantener en todo momento la cota del agua por debajo de los cero metros.

El objetivo de este apartado, en primer lugar, es presentar los datos de algunos de los elementos a tener en cuenta en la realización de un balance hídrico en la corta Aznalcóllar, y en segundo lugar, plantear un balance hídrico para la situación actual en cuanto a la cota del agua en las cortas, simplificando los datos en relación a los flujos de agua subterránea, y considerando un año con una pluviometría media.

En ausencia de cualquier gestión de aguas, las entradas y salidas a la corta son las que se relacionan a continuación:

- Entradas
 - Precipitación directa sobre el lago (PD).
 - Escorrentía superficial en terrenos vertientes a la corta (ES).
 - Filtraciones de escombreras y áreas mineras circundantes a la corta (F).
 - Aguas subterráneas procedentes del paleozoico (AS_{IN}).
- Salidas
 - Evaporación (Ev).
 - Aguas subterráneas a través del paleozoico (AS_{OUT}).

El volumen que resulte del balance hídrico (BH) vendrá determinado por la siguiente expresión:

$$BH = \text{Entradas} - \text{Salidas} = (PD + ES + F + AS_{IN}) - (Ev + AS_{OUT})$$

Pasemos a continuación a comentar algunos datos en relación a estos aportes o pérdidas para la corta de Aznalcóllar.

IV.1. ENTRADAS DE AGUA A LA CORTA

IV.1.1. Precipitación directa (PD)

Se dispone de la pluviometría mensual de la estación de Gerena, para el periodo 1975-2004 (Tabla 2.1). La estación de Gerena es idónea para estimar la pluviometría media en Aznalcóllar al encontrarse muy cerca, a tan solo 8 km, y además ocupar una situación orográfica muy similar, entre las llanuras suavemente onduladas de los materiales miocenos de la cuenca del Guadalquivir, al Sur, y el paleozoico con valles encajados y a mayor altura, al Norte.

En base a los datos de esta estación se puede considerar que la **pluviometría media anual** para Aznalcóllar es de **618 mm**. Ahora bien, las variaciones interanuales pueden llegar a ser importantes (rango 1.160-300 mm), y además, se pueden tener periodos de varios años consecutivos con pluviometrías alejadas de la media (Figura 4.1).

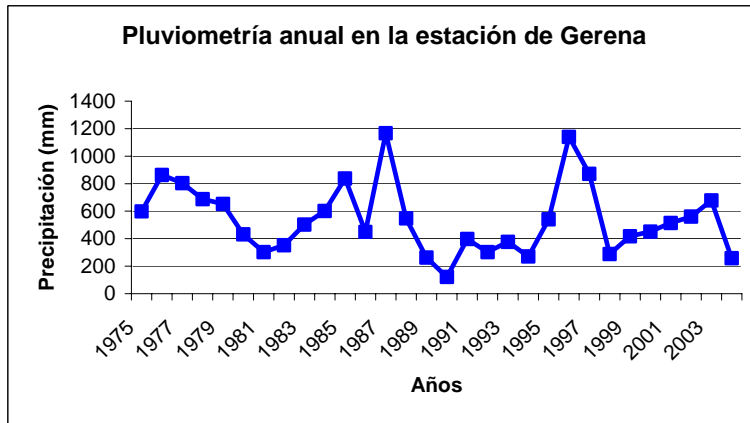


Figura 4.1. Pluviometría anual en la estación de Gerena (periodo 1975-2004). Las variaciones son importantes, se pueden dar periodos de varios años con pluviometrías alejadas de la media (618 mm).

La distribución de la lluvia es irregular a lo largo del año, las máximas precipitaciones se dan en diciembre, valor medio de 113 mm, y las mínimas los meses de julio y agosto, con valores medios inferiores a 5 mm, observándose un máximo relativo el mes de abril con 55 mm (Figura 2.4). Las precipitaciones medias mensuales, al igual que las anuales, pueden llegar a presentar una acusada variabilidad (Figura 4.2). Por lo que los cálculos efectuados para un año de pluviometría media pueden estar muy lejos de la realidad en algunas ocasiones.

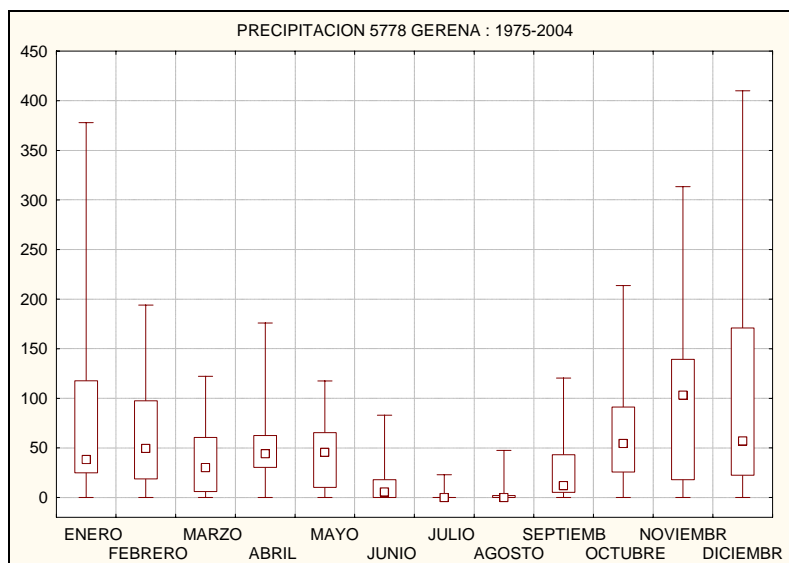


Figura 4.2. Variabilidad de la pluviometría media mensual en la estación de Gerena (periodo 1975-2004).

IV.1.2. Escorrentía superficial (ES)

La **lluvia útil** es el agua de precipitación que escapa a la evapotranspiración y que escurre o se infiltra en el terreno. La lluvia útil en las escombreras y resto de áreas mineras corresponde al 50% de la precipitación, según estimaciones de [BAPSL \(2000 a\)](#), valor más conservador que el 37% considerado por la misma empresa en su informe de 1998, ya que pretende incluir la menor evapotranspiración que se produciría en estas superficies debido a la ausencia de vegetación y a la inexistencia de un suelo desarrollado.

[Boliden-Apirsa \(2000 a\)](#) considera que el **coeficiente de escorrentía** para el área minera de Aznalcóllar varía entre 0,31 y 0,36, correspondiendo el valor más alto a las zonas restauradas (recubiertas de arcillas, compactadas, etc.) y el valor menor a aquellas que no reciban ningún tratamiento. El coeficiente de escorrentía medio considerado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir para la cuenca del río Agrio es 0,24.

IV.1.3. Filtraciones (F)

Las filtraciones se pueden considerar que son aguas subterráneas que llegan a la corta en forma de escorrentía superficial. La principal fuente de filtraciones es la escombrera noroeste. Esta escombrera, por su naturaleza, extensión y volumen, tiene gran capacidad para almacenar y transmitir el agua de lluvia que se infiltra desde su superficie, por el contraste de permeabilidades entre la misma y los terrenos paleozoicos sobre los que se apoya. Esto genera surgencias difusas en el entorno de la escombrera, fundamentalmente en las zonas de cota más baja del contacto de la base de la escombrera con el substrato paleozoico.

Un comportamiento hidrogeológico semejante se puede atribuir a los retazos de materiales miocenos de escasa potencia que circundan la corta, así como a terrenos mineros en los alrededores de la corta. En todos ellos pueden aparecer filtraciones en puntos de la superficie donde hay un contraste brusco de la permeabilidad.

En zonas alejadas de la corta, como por ejemplo las subcuencas que están al norte de la escombrera noroeste, se ha considerado que el agua que se infiltra en el terreno pasa a formar parte de las aguas subterráneas del paleozoico. Por ello a estas subcuencas no se les ha asignado ningún tipo de filtración en el balance hídrico efectuado.

El **coeficiente de infiltración** en el área minera se puede considerar que varía entre 0,14 y 0,19 dependiendo, igualmente que en el caso del coeficiente de escorrentía, de la existencia o no de labores de cubrición ([BAPSL, 2000 a](#)).

IV.1.4. Flujo de aportes subterráneos (AS_{IN})

Debido a la fuerte depresión del nivel piezométrico que todavía existe en el entorno de la corta, cabe esperar que se produzca una entrada de agua subterránea desde el paleozoico. El volumen de agua estará limitado por las bajas permeabilidades que presentan los materiales paleozoicos que conforman las paredes de la corta (ver capítulo III). Dada la cercanía de la corta Los Frailes, la depresión del nivel piezométrico asociada a la misma influirá en la entrada de agua subterránea en la corta Aznalcóllar.

Durante el periodo 2005-2007 la lámina de agua en Aznalcóllar se ha encontrado a una cota entre -5 m y 0 m, y la de Los Frailes se ha ido incrementando de -74 m a -61 m. Con una situación como esta el modelo digital de simulación de flujo subterráneo desarrollado por [BAPSL \(2001\)](#) da una entrada de agua subterránea a la corta Aznalcóllar de 15.000 m³/año (ver capítulo III).

IV.2. SALIDAS DE AGUA EN LA CORTA

IV.2.1. Evaporación (Ev)

La evaporación es sin duda la principal pérdida de agua en la corta por lo que el proceso de estimación de su valor es importante para el resultado final del balance hídrico de la corta.

El evaporímetro o tanque evaporador es el método más usado para medir la evaporación sobre un lago o embalse. El tipo de tanque más común es el llamado Clase A, construido de lámina galvanizada sin pintar, de unos 121 cm de diámetro y de aproximadamente 25,4 cm de profundidad, apoyado sobre unas vigas de madera a una altura sobre la superficie del suelo de unos 25,5 cm. La regla de operación del evaporímetro clase A es simplemente mantenerlo lleno de agua hasta una profundidad máxima de 20 cm y una mínima de 17,5 cm, llevando a cabo al menos una lectura diaria, corregida por la precipitación acumulada durante el período de tiempo entre observaciones.

Las relaciones desarrolladas entre la **evaporación en tanque** tipo A y la **evaporación real o en lámina libre de agua** desde una superficie amplia de agua están representadas como:

$$E_R = K E_T$$

donde:

E_R : evaporación real en lámina libre de agua.

E_T : evaporación en el tanque.

K : constante de proporcionalidad, que generalmente varía entre 0,60 y 0,85, con un valor promedio general de 0,70.

Aunque hay un tanque de este tipo instalado en el lado sur de la corta, actualmente sin mantenimiento ni control, no se dispone de los datos que haya podido proporcionar en algún tiempo.

[BAPSL \(2000 a\)](#) sólo pudo contar para sus cálculos con las medidas directas diarias de evaporación correspondientes al embalse del río Agrio, obtenidas mediante evaporímetro Piché, para los años 1997 y 1998 (Tabla 4.1).

| Meses | Evaporación media diaria en evaporímetro Piché (mm/d) | | | |
|------------|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Embalse río Agrio | | Embalse de La Minilla | |
| | Serie 1997-98 ⁽¹⁾ | Serie 1989-98 ⁽²⁾ | Serie 1997-98 ⁽³⁾ | Serie 1989-98 ⁽³⁾ |
| Enero | 2,0 | 4,5 | 1,6 | 4,2 |
| Febrero | 3,7 | 5,4 | 2,5 | 4,2 |
| Marzo | 8,5 | 6,6 | 5,0 | 5,2 |
| Abril | 6,4 | 7,4 | 4,2 | 5,8 |
| Mayo | 7,0 | 8,4 | 5,0 | 7,4 |
| Junio | 10,6 | 10,0 | 7,9 | 9,6 |
| Julio | 13,3 | 11,7 | 16,8 | 14,0 |
| Agosto | 13,4 | 13,5 | 18,0 | 16,1 |
| Septiembre | 9,9 | 11,1 | 10,5 | 12,4 |
| Octubre | 7,1 | 9,3 | 5,7 | 9,3 |
| Noviembre | 3,5 | 6,1 | 3,3 | 5,6 |
| Diciembre | 3,3 | 4,6 | 2,3 | 4,5 |

Tabla 4.1. Comparación de los datos de evaporación media diaria en evaporímetro Piché en el embalse del río Agrio y en el embalse de La Minilla.

- (1) Datos reales en evaporímetro Piché.
 (2) Datos restituidos mediante los datos reales del embalse de La Minilla.
 (3) Datos reales obtenidos en evaporímetro Piché.

El evaporímetro Piché se instala dentro de una caseta meteorológica y consiste en un tubo de vidrio graduado, con el extremo inferior abierto por el que se evapora el agua a través de un papel secante circular de dos centímetros de diámetro.

| Meses | Evaporación en embalse del río Agrio (mm/mes) | | |
|------------|---|------------|-----------------------|
| | Piché | Tanque (1) | Lamina agua libre (2) |
| Enero | 140 | 91 | 63 |
| Febrero | 151 | 98 | 69 |
| Marzo | 205 | 133 | 93 |
| Abril | 222 | 144 | 101 |
| Mayo | 260 | 169 | 118 |
| Junio | 300 | 195 | 137 |
| Julio | 363 | 236 | 165 |
| Agosto | 419 | 272 | 190 |
| Septiembre | 333 | 216 | 152 |
| Octubre | 288 | 187 | 131 |
| Noviembre | 183 | 119 | 83 |
| Diciembre | 143 | 93 | 65 |
| ANUAL | 3006 | 1954 | 1368 |

Tabla 4.2. Equivalencia entre la evaporación Piché, en tanque y en lámina libre de agua en el embalse del río Agrio.

- (1) Factor de corrección para pasar de evaporación Piché a evaporación en tanque 0,65.
 (2) Factor de corrección de evaporación en tanque a evaporación en lámina de agua libre 0,7.

Con el objetivo de comprobar la bondad de estos datos e incluso obtener una serie de evaporación en lámina libre más larga y representativa, BAPSL analizó los datos de

evaporación correspondientes al embalse de La Minilla (periodo 1989-1998, Tabla 4.1), obtenidos también en evaporímetro Piché y facilitados por EMASESA, dado que este embalse presenta una ubicación topográfica similar a la del embalse del río Agrio. Tomando como referencia los datos de la serie 1997-98 para ambos embalses, obtuvieron la función polinómica de ajuste que les permitió restituir la serie de evaporaciones en el embalse del río Agrio para el periodo 1989-96 (Tabla 4.1).

Para obtener la serie equivalente de evaporación en lámina libre se han de aplicar dos coeficientes correctores sucesivos, uno para pasar de evaporación Piché a evaporación en tanque flotante y otro para pasar de ésta a lámina libre. El primer coeficiente puede variar entre 0,45 y 0,80, y el segundo entre 0,60 y 0,85. En la Tabla 4.2 se tiene las equivalencias entre las evaporaciones en dispositivo Piché, tanque y lámina de agua libre considerando como factor de corrección los valores medios de estos coeficientes, 0,65 y 0,7 respectivamente.

| Evaporación neta en lámina libre de agua en el embalse del río Agrio | | | |
|--|-------------------------------------|---|---|
| Meses | Pluviometría ⁽¹⁾ (mm) | Evaporación en lámina ⁽²⁾ libre de agua (mm) | Evaporación neta en lamina libre de agua (mm) |
| Enero | 83 | 63 | -20 |
| Febrero | 68 | 69 | 1 |
| Marzo | 41 | 93 | 52 |
| Abril | 55 | 101 | 46 |
| Mayo | 41 | 118 | 77 |
| Junio | 14 | 137 | 122 |
| Julio | 2 | 165 | 163 |
| Agosto | 5 | 190 | 186 |
| Septiembre | 26 | 152 | 127 |
| Octubre | 69 | 131 | 62 |
| Noviembre | 101 | 83 | -18 |
| Diciembre | 113 | 65 | -49 |
| ANUAL | 618 | 1368 | 750 |

Tabla 4.3. Evaporación neta en lámina libre de agua en el embalse del río Agrio como diferencia de la pluviometría media mensual de la estación de Gerena y la evaporación en lámina libre de agua calculada desde los datos de los evaporímetros Piché en los embalses del Agrio y La Minilla.

(1) Datos estación de Gerena (1975-2004).

(2) Calculada a partir de los datos de evaporímetros Piché (ver Tabla 4.1).

Considerando las pluviometrías medias mensuales de la estación de Gerena y las evaporaciones mensuales en lámina libre calculados desde los datos de los evaporímetros Piché de los embalses del Agrio y La Minilla (Tabla 4.3), se pone de manifiesto un déficit hídrico anual aproximado de 750 mm (Figura 4.3).

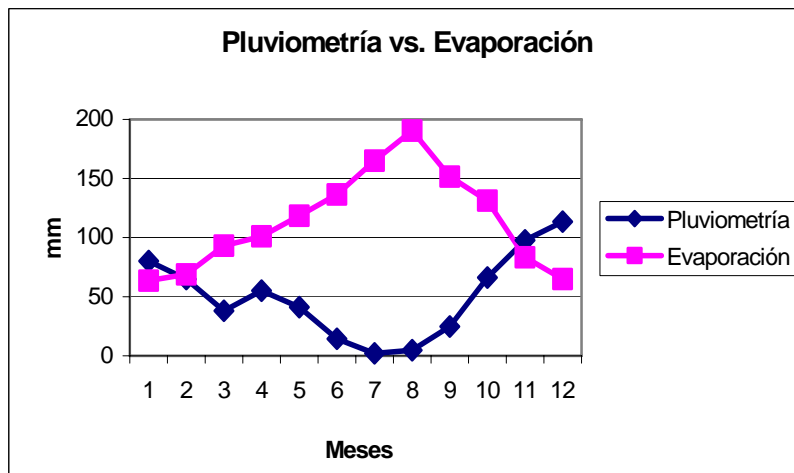


Figura 4.3. Pluviometría y evaporación media mensual en la corta Aznalcóllar. El déficit hídrico anual está en 750 mm.

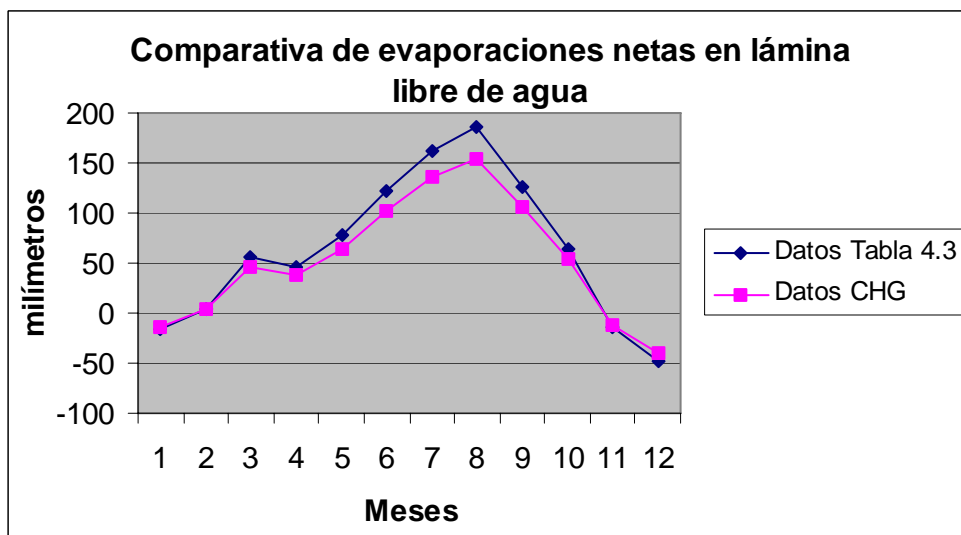


Figura 4.4. Comparativa de las evaporaciones netas en lámina libre de agua obtenidas en la Tabla 4.3 con los datos proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Tabla 4.4).

Con los datos de la [Confederación Hidrográfica del Guadalquivir \(http://www.chguadalquivir.es\)](http://www.chguadalquivir.es), sobre la evaporación neta en tanque, y considerando el factor de corrección propuesto de 0,83 para pasar a evaporación en lámina libre de agua, se llega a la conclusión que el déficit hídrico, en este caso, estaría en 610 mm (Tabla 4.4). Una comparativa de la evaporación neta mensual calculada con los dos conjuntos de datos disponibles se tiene en la Figura 4.4. Para el balance hídrico efectuado se ha tomado el dato más favorable en relación a evitar el rebose de agua en la corta.

| Evaporación neta en el municipio de Aznalcóllar | | |
|---|---------------------------------|---|
| Meses | Evaporación neta en tanque (mm) | Evaporación neta en lámina libre de agua (mm) |
| Enero | -67 | -55 |
| Febrero | -34 | -28 |
| Marzo | 21 | 18 |
| Abril | 55 | 45 |
| Mayo | 120 | 99 |
| Junio | 176 | 146 |
| Julio | 246 | 204 |
| Agosto | 222 | 184 |
| Septiembre | 130 | 108 |
| Octubre | 9 | 8 |
| Noviembre | -67 | -55 |
| Diciembre | -75 | -62 |
| ANUAL | 735 | 610 |

Tabla 4.4. Datos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir sobre evaporación neta en tanque (pluviometría menos evaporación) y evaporación neta en lámina libre de agua. El factor de corrección para pasar de evaporación neta en tanque a evaporación neta en lámina libre de agua es 0,83 (CHG).

IV.2.2. Flujo de salida subterráneo (AS_{OUT})

Dada la diferencia de cota del nivel piezométrico entre corta Aznalcóllar y corta Los Frailes cabe esperar la existencia de un flujo de agua subterránea desde la primera a Los Frailes. Considerando de nuevo el resultado del modelo digital de simulación de flujo subterráneo para el entorno de las cortas mineras desarrollado por BAPSL (2001), se introducirá en la balance hídrico la cifra de 55.000 m³/año como caudal perdido en la corta Aznalcóllar a través de flujo subterráneo.

IV.3. BALANCE HÍDRICO EN LA CORTA AZNALCÓLLAR

Se ha efectuado el balance hídrico de la corta Aznalcóllar con el supuesto de que no hay ninguna entrada o salida de agua producto de un bombeo. Esto es, ni se extrae agua de la corta, ni se introduce desde la balsa de escorrentía (Tabla 4.5).

El balance hídrico se ha efectuado para las condiciones actuales en las cortas: i) cota de lámina de agua en corta Aznalcóllar 0 m, y ii) cota de lámina de agua en corta Los Frailes -61 m. Estas cotas influyen en diversos parámetros como la precipitación directa a la corta, escorrentía y filtraciones desde los bancos de la corta y los caudales de entrada y salida a través de flujo subterráneo.

Las superficies de las diferentes áreas mineras se han tomado de BAPSL (2000 a) o han sido medidas con la ortofotografía digital de Andalucía editada por el ICA (2003), o con topografía digital detallada de la zona minera proporcionada por EGMASA.

BALANCE HÍDRICO SIMPLIFICADO PARA LA CORTA AZNALCÓLLAR

ENTRADAS DE AGUA

| Áreas mineras | Superficie <i>m²</i> | Escorrentía superficial | | | Filtraciones | | | | | |
|--|------------------------------------|-----------------------------|--|--|-------------------------------------|------------------------------|---|---|-------------------------------------|--------|
| | | Coefficiente escorrentía | Escorrentía específica <i>mm/año</i> | Caudal de escorrentía <i>l/s</i> | Volumen <i>m³/año</i> | Coefficiente infiltración | Infiltración específica <i>mm/año</i> | Caudal de infiltración <i>l/s</i> | Volumen <i>m³/año</i> | |
| Escombrera noroeste | 1860000 | 0,31 | 192 | 11,3 | 356339 | 0,19 | 117 | 6,9 | 218401 | |
| Talleres | 50000 | 0,31 | 192 | 0,3 | 9579 | | | | | |
| Taludes corta Aznalcóllar | 300000 | 0,36 | 222 | 2,1 | 66744 | 0,14 | 87 | 0,8 | 25956 | |
| Perímetro corta Aznalcóllar | 100000 | 0,36 | 222 | 0,7 | 22248 | 0,14 | 87 | 0,3 | 8652 | |
| Plataforma vertido estériles | 28000 | 0,36 | 222 | 0,2 | 6229 | 0,14 | 87 | 0,1 | 2423 | |
| Talud vertido estériles | 20000 | 0,80 | 494 | 0,3 | 9888 | 0,20 | 124 | 0,1 | 2472 | |
| Zona entre cortas | 127000 | 0,36 | 222 | 0,9 | 28255 | 0,14 | 87 | 0,3 | 10988 | |
| Subcuencas al norte de la escombrera noroeste | 2030000 | 0,24 | 148 | 9,5 | 301090 | | | | | |
| Total escorrentía | | | | | 800372 | Total filtraciones | | | | 268892 |

| Áreas mineras | Superficie <i>m²</i> | Precipitación directa | |
|---------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | | Precipitación <i>mm/año</i> | Volumen <i>m³/año</i> |
| Lago minero | 284000 | 618 | 175512 |
| | | Precipitación directa | 175512 |

Entrada de agua subterránea 15000 m³/año

TOTAL ENTRADAS 1259776 m³/año

SALIDAS DE AGUA

| Áreas mineras | Superficie <i>m²</i> | Evaporación directa | |
|---------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|
| | | Evap. lámina libre de agua <i>mm/año</i> | Volumen <i>m³/año</i> |
| Lago minero | 284000 | 1368 | 388512 |
| | | Total evaporación | 388512 |

Salida como agua subterránea 55000 m³/año

TOTAL SALIDAS 443512 m³/año

INCREMENTO DEL VOLUMEN DE AGUA EN LA CORTA 816264 m³/año

Tabla 4.5. Balance hídrico simplificado para la corta Aznalcóllar en la situación actual, considerando una pluviometría media anual de 618 mm. Los coeficientes de escorrentía e infiltración se han tomado de [BAPSL \(2001\)](#) y [CHG](#).

Se han considerado los coeficientes de lluvia útil, escorrentía e infiltración propuestos por BAPSL para la zona minera. Para las subcuencas al norte de la escombrera norte, creemos que es más adecuado emplear el coeficiente de escorrentía que asigna la CHG a la cuenca del río Agrio.

En cuanto a las entradas y salidas a través del flujo subterráneo se han tomado los datos que resultan del modelo digital de simulación de flujo subterráneo para el entorno de las cortas mineras desarrollado por BAPSL.

Del volumen total de agua que entra en la corta ($1,26 \text{ hm}^3$) la escorrentía superficial representa más del 80% ($0,8 \text{ hm}^3$), las filtraciones el 22% ($0,27 \text{ hm}^3$) y la precipitación directa el 14% ($0,17 \text{ hm}^3$); la cantidad de agua que entra a través del flujo subterráneo se puede considerar casi insignificante.

El volumen de agua que sale de la corta es de $0,44 \text{ hm}^3$, representando la evaporación el 85% ($0,39 \text{ hm}^3$). Las pérdidas son claramente inferiores a las ganancias por lo que hay un exceso de agua, estimado en $0,81 \text{ hm}^3$, que se irá acumulando progresivamente en la corta. Este aporte neto de agua anual provocaría el incremento del nivel del agua entre 2,5 y 3 m.