



ANEXO N°6.1

INFORME DE ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES

CARGO N°6 RES. EX. N°1 / ROL D-018-2019

SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE

**DOCUMENTO PREPARADO POR
ARCADIS CHILE**



Versión 1

Julio 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ALCANCE	4
3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	5
4. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS (Cp)	5
5. BALANCE DE AGUAS LA BREA	7
5.1 Antecedentes	7
5.2 Balance de Aguas Modificado	8
6. MODELO DE INFILTRACIONES.....	10
6.1 General.....	10
6.2 Modelo de Infiltraciones Calibrado 2015-2017	11
6.3 Modelo de Infiltraciones con Cp Modificado.....	14
7. CONCLUSIONES.....	16
8. REFERENCIAS	16
9. APÉNDICES.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Concentración de sólidos (Cp) periodo 2015-2017.	6
Figura 5-1:: Evolución de volumen de laguna modelo de balance y datos reales.	7
Figura 5-2: Modificación de la concentración de sólidos.	8
Figura 5-3: Evolución de volumen de laguna modelo de balance calibrado de datos reales vs calculado de datos modificados.	9
Figura 6-1: Vista 3D grilla del modelo numérico en MODFLOW [Ref. 2].	11
Figura 6-2: Ubicación puntos de aforo (circulo rojo) sistema de drenaje del Depósito La Brea.	12
Figura 6-3: (a) Comparación entre caudal simulado y caudal medido en aforos del sistema de drenaje y (b) niveles de aguas subterráneas en pozos [Ref. 2].	13
Figura 6-4: Resultado del caudal de infiltración total desde el depósito determinado a través del modelo de infiltraciones [Ref. 2].	14
Figura 6-5: Comparación del caudal de infiltración y del sistema de drenaje entre el modelo calibrado (usando Cp real) y el con Cp modificado a condición de cumplimiento.	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Registro de concentración de sólidos bajo el nivel de 55%.	6
--	---

1. INTRODUCCIÓN

Con fecha 19 de febrero de 2019, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) formula cargos en contra de SCM Minera Lumina Copper Chile (SCM MLCC), mediante la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019. En este contexto, SCM MLCC ha definido presentar un Programa de Cumplimiento (PDC), dentro del cual es requerido hacer entrega de informes de efectos asociados a los hechos, actos u omisiones que constituyen la infracción en que se ha incurrido.

En virtud de lo anterior, el presente informe técnico responde a la necesidad de evaluar los potenciales efectos ambientales asociados al cargo N° 6, el cual se refiere a: “Deposición de lamas, sin alcanzar el límite inferior fijado para el porcentaje de sólidos en estas, en los siguientes períodos: febrero, abril, mayo, junio, julio, noviembre y diciembre 2015; de enero a noviembre de 2016; y enero, mayo y junio de 2017”.

Para la evaluación de los efectos ambientales, se calculó el volumen que habría alcanzado la laguna si en los meses objeto de la formulación de cargos, y manteniendo todas las demás variables del balance de aguas constantes, el contenido de sólidos (Cp) hubiera sido de 55% en vez del que realmente se alcanzó y que estuvo por debajo de ese valor. Estos volúmenes se compararon con los reales, es decir, aquellos medidos durante la operación (y que por el incumplimiento en el Cp son mayores a los estimados) determinando las diferencias entre ambos casos. Luego, para determinar el efecto ambiental del incumplimiento, se usó un modelo de infiltraciones del depósito que permite estimar el caudal infiltrado adicional que se generó producto de haber tenido un mayor volumen de agua en la laguna, lo que a su vez resultó debido a haber depositado con un Cp menor a 55% algunos meses (esto manteniendo otras variables, como por ejemplo el bombeo, constantes).

2. ALCANCE

El objetivo del presente informe es analizar y evaluar los efectos de las variaciones de concentración en peso (Cp) de relaves y lamas, dispuestos en el depósito La Brea, en el caudal de infiltraciones totales resultantes. Este análisis considera el período comprendido entre enero de 2015 y diciembre de 2017, considerando el Cp medido en operación, estableciendo como mínimo una concentración de 55%.

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

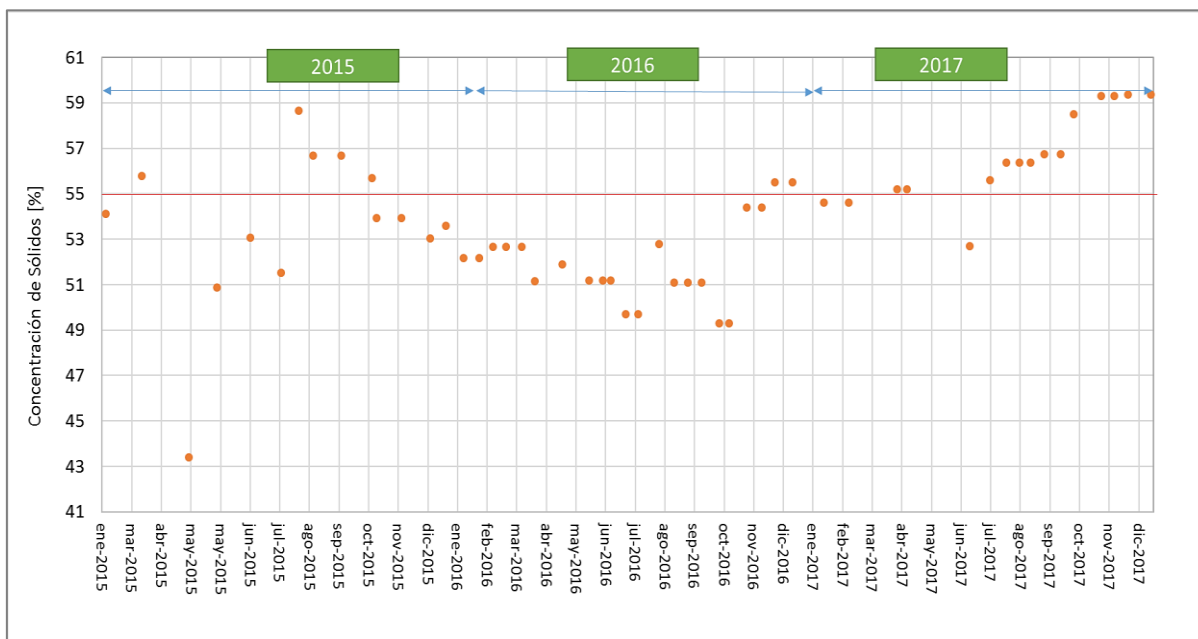
Para el desarrollo del análisis se utilizó la metodología de trabajo a continuación descrita para el período estudiado:

- a) Sensibilización del balance de aguas en el Depósito de Lamas La Brea [Ref. 1], donde sólo se modifican los meses que presentaron desviación del Cp con respecto a lo comprometido, considerando una concentración de sólidos mínima de 55%, con el objetivo de obtener un volumen de laguna modificado.
- b) Se desarrolla modelo de infiltraciones, considerando antecedentes operacionales históricos para su calibración.
- c) Se desarrolla modelo de infiltraciones, considerando un Cp modificado (con un Cp mínimo de 55%). De este modo, se busca obtener variación porcentual de flujos al compararlos con la modelación calibrada.
- d) Analizar variación de caudales de infiltración y su comportamiento en el tiempo.

4. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS (Cp)

A partir de los datos operacionales de la concentración de sólidos en peso (Cp) de la fracción fina (lamas), que son transportadas y descargadas en el Depósito de Lamas La Brea, registrados entre enero del año 2015 y diciembre del 2017, es posible identificar que algunos meses puntuales han tenido valores medios mensuales inferiores al 55%, ver Figura 4-1.

Figura 4-1: Concentración de sólidos (Cp) periodo 2015-2017.



Fuente: Arcadis, 2019

Los meses con depositación de lamas en que se observó una medición con concentración de sólidos menor al límite inferior del 55%, se resume en la siguiente Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Registro de concentración de sólidos bajo el nivel de 55%.

Fecha	Cp [%]	Fecha	Cp [%]
feb-15	54,1	may-16	51,9
abr-15	43,4	jun-16	51,2
may-15	50,9	jul-16	49,7
jun-15	53,1	ago-16	52,8
jul-15	51,5	sep-16	51,1
nov-15	53,9	oct-16	49,3
dic-15	53,0	nov-16	54,4
ene-16	53,6	ene-17	54,6
feb-16	52,2	may-17	50,3
mar-16	52,7	jun-17	52,7
abr-16	51,1		

5. BALANCE DE AGUAS LA BREA

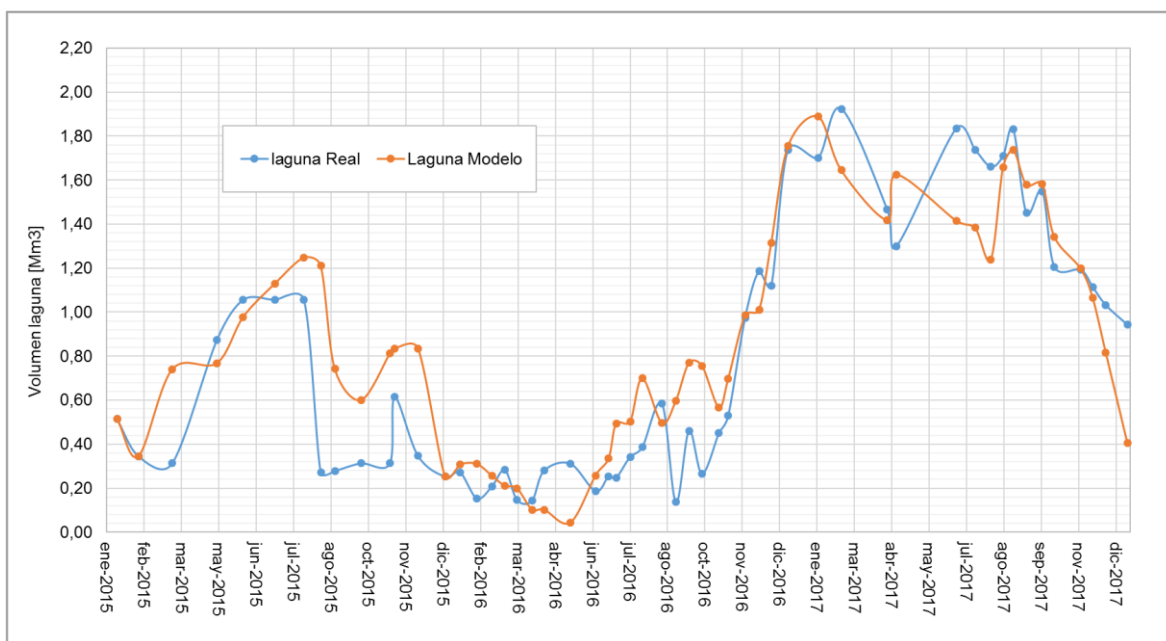
5.1 Antecedentes

Dentro del contexto de una actualización de permisos ambientales, SCM MLCC solicitó a Arcadis en el año 2018, la construcción de un modelo de balance de aguas conceptual para el Depósito de Lamas La Brea. Este modelo tuvo como objetivo establecer, para el mediano y largo plazo, rangos de caudales para los principales flujos incidentes en el balance hídrico superficial del depósito.

Para lograr esto, se confeccionó un modelo de balance de agua a nivel mensual que fue calibrado en base a antecedentes operacionales para el período comprendido entre los años 2015 y 2017. Mediante el proceso de Calibración, se buscó representar de mejor manera el comportamiento de la laguna de clarificación, buscando minimizar la diferencia entre el volumen de laguna modelado y el volumen de laguna real.

Una vez calibrado el modelo de balance de aguas, fue posible obtener una representación de la variación de la laguna de clarificación en el tiempo. En la Figura 4-1 muestra la comparativa entre el volumen de laguna real y el volumen de laguna obtenido del balance de aguas calibrado.

Figura 5-1:: Evolución de volumen de laguna modelo de balance y datos reales.



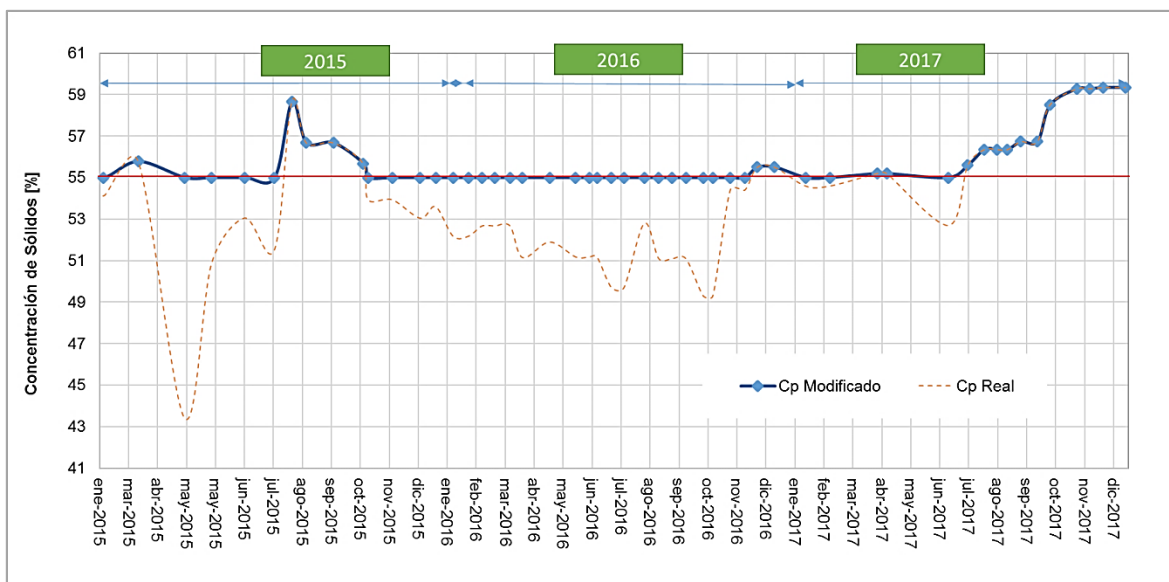
Fuente: Arcadis, 2019

5.2 Balance de Aguas Modificado

A partir del modelo del balance de agua calibrado, mencionado en la sección 5.1, se realizó un ajuste en la concentración en peso (C_p) en aquellos meses con mediciones inferiores a 55%, considerando este valor como límite inferior, y con esto se determinó la variación en los flujos que ingresan al depósito y sus efectos en el volumen de la laguna de clarificación.

Este balance de aguas “modificado” consideró el mismo período del balance calibrado (enero de 2015 a diciembre de 2017), variando la concentración de sólidos del agua que ingresa al depósito sólo en los meses donde el valor fue inferior a un 55%, manteniendo todos los demás parámetros y criterios constantes. Los resultados de este análisis se presentan en la Figura 5-2 (línea negra con puntos azules).

Figura 5-2: Modificación de la concentración de sólidos.



Fuente: Arcadis, 2019

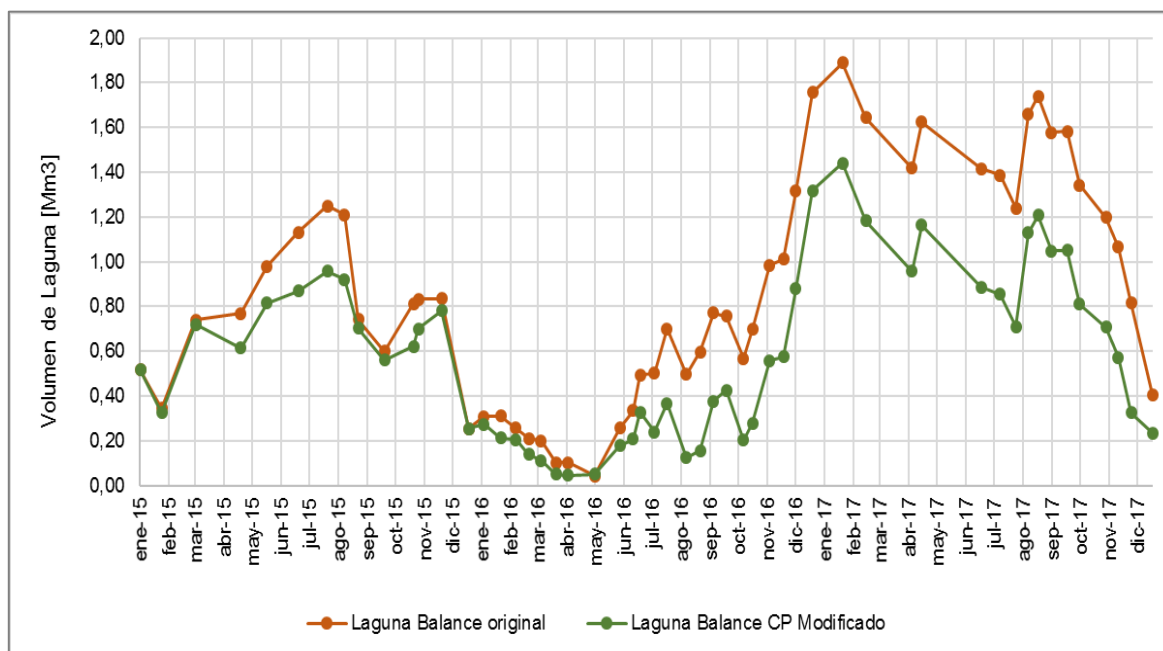
Al aumentar la concentración de sólidos de las lamas depositadas ingresa una menor cantidad de agua al volumen de control. Si se mantienen constante ciertas variables como son las propiedades del relave, el método de depositación, la extracción de agua desde la cubeta y el Plan Minero, habrá una disminución del volumen de laguna en el tiempo respecto del volumen obtenido en el modelo de balance de aguas calibrado.

Luego, se desarrolló un balance de aguas a nivel mensual “modificado” en el depósito, considerando C_p mayores o iguales que 55% (es decir, ajustados a la condición de cumplimiento). Esto trae consigo una menor cantidad de agua que potencialmente escurre hacia la zona de la laguna de clarificación. Cabe mencionar, que la variación de C_p no es directamente proporcional al volumen de laguna, ya que disminuye la superficie evaporante

de la laguna y aumenta el área de playas activas, variando de esta manera también las pérdidas por evaporación.

La Figura 5-3 muestra la variación volumétrica de la laguna en el tiempo para el caso del balance de aguas calibrado respecto del balance de aguas con Cp modificado, donde las diferencias son variables, apreciables y van desde 0 a 530 km³. Nótese que en los periodos donde el volumen de laguna es mínimo (dic 2015-mayo 2016) las diferencias son prácticamente nulas, dado que el balance de agua calibrado considera que para volúmenes de laguna bajo 300.000 m³ el sistema de bombeo de la cubeta opera extrayendo un menor caudal, lo cual representa la operación real ya que las bombas requieren de un calaje (o profundidad laguna de aguas claras) mínimo de 2 m para operar, de lo contrario se producen daños en los sistemas de impulsión por el bombeo de pulpa (agua más lamas). Este calaje, se logra aproximadamente con un volumen de laguna de 200.000 m³. En resumen, entre diciembre de 2015 y mayo 2016, las diferencias entre los volúmenes de laguna modelados a través del balance calibrado y el modificado, son mínimos debido a que el balance al calcular volúmenes de laguna menores a 300.000 m³ considera menores caudales de bombeo desde la laguna, de manera similar a lo ocurrido en la real operación del depósito en ese periodo, por lo que los volúmenes calibrados de datos reales y los calculados a partir del Cp modificado son similares, independiente de las variaciones de este último parámetro. Esto además soporta lo indicado en términos que el volumen de la laguna depende de la capacidad de extracción del sistema de bombeo instalado en la cubeta, y no sólo de la concentración de sólidos de las descargas de lamas.

Figura 5-3: Evolución de volumen de laguna modelo de balance calibrado de datos reales vs calculado de datos modificados.



Fuente: Arcadis, 2019

El detalle de los volúmenes de la laguna y la variación porcentual a nivel mensual se muestran en la tabla del Apéndice A.

6. MODELO DE INFILTRACIONES

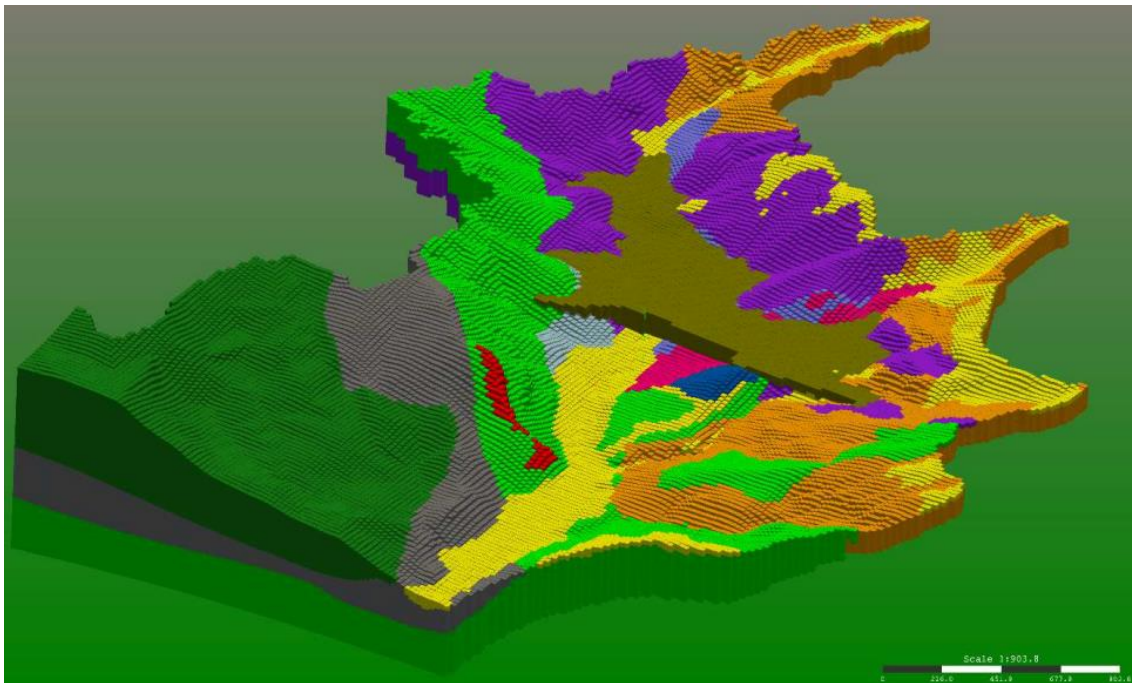
6.1 General

En el año 2018 Arcadis realizó la construcción de un modelo de infiltraciones calibrado [Ref. 2], a partir de información operacional histórica, principalmente con batimetrías, caudales de bombeo, aforos del sistema de drenaje, niveles de agua en los pozos de monitoreo, además de la caracterización geotécnica del terreno natural y de los relaves depositados. El modelo de infiltraciones calibrado permite entender de mejor forma el comportamiento de las infiltraciones totales provenientes del depósito y permite estimar las condiciones futuras del mismo.

Para simular el flujo de infiltración se utilizó el software MODFLOW-USG, que utiliza la técnica de volúmenes finitos. MODFLOW es uno de los códigos recomendados por la guía del SEA (2012) para evaluaciones ambientales en Chile, razón por la cual es considerado para el desarrollo de la herramienta numérica mencionada.

En la Figura 6-1 se presenta una vista general 3D de la geometría activa del modelo con el crecimiento del depósito de lamas La Brea a diciembre 2017, incluyendo también la distribución de propiedades hidráulicas del modelo.

Figura 6-1: Vista 3D grilla del modelo numérico en MODFLOW [Ref. 2].



Fuente: Arcadis, 2018

6.2 Modelo de Infiltraciones Calibrado 2015-2017

Como se mencionó previamente, se realizó una calibración del modelo de infiltraciones con información histórica desde el inicio de la operación, hasta diciembre del año 2017.

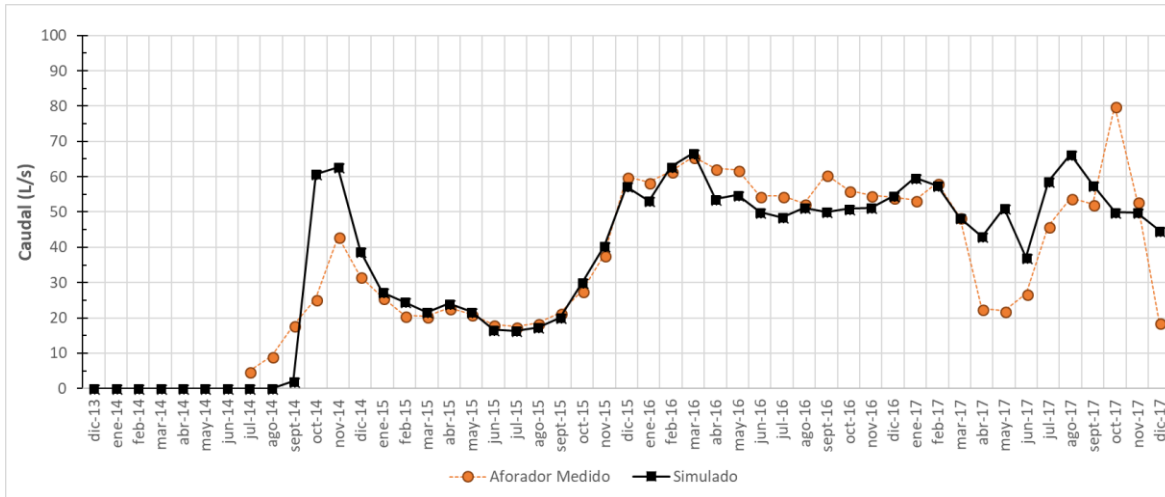
El proceso de calibración es un proceso iterativo en que inicialmente se modifican las permeabilidades, coeficiente de almacenamiento de las unidades hidrogeológicas consideradas más relevantes, para luego pasar a una calibración “asistida”, mediante el software PEST utilizado para modelos de aguas subterráneas, buscando replicar el comportamiento registrado en el aforador del sistema de drenaje (ver ubicación de aforos en la Figura 6-2) y de los pozos aguas abajo del muro del Depósito de Lamas La Brea.

La Figura 6-3 presenta el ajuste logrado para el caudal del aforador (es decir lo que infiltra y es captado por los drenes del depósito) y los niveles de agua en los pozos de monitoreo (que es la variable que da cuenta de la porción de infiltraciones que no es captada por los drenes y continúa avanzando aguas abajo). Así, con el modelo de infiltraciones calibrado es posible representar la situación histórica en relación con el efecto que generan las infiltraciones totales del sistema, y la respuesta del acuífero frente a esto.

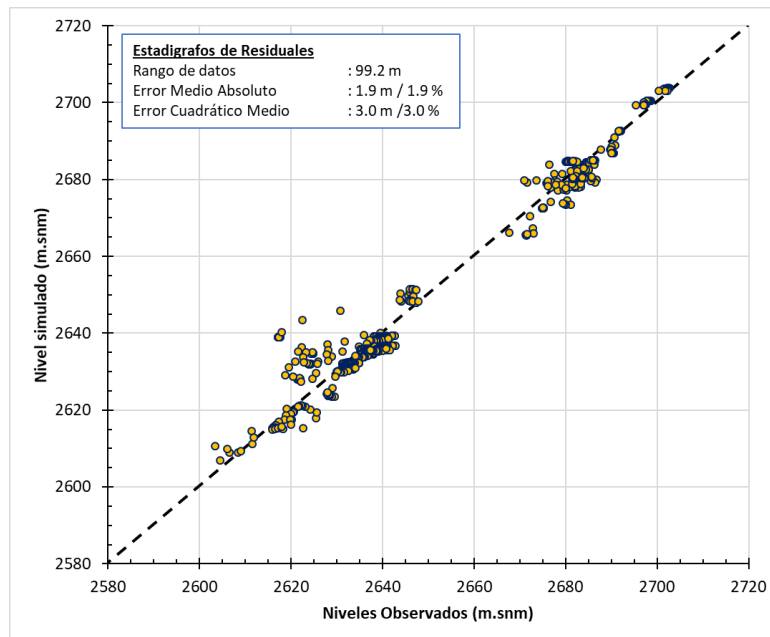
Julio, 2019
Página 12 de 19

Figura 6-3: (a) Comparación entre caudal simulado y caudal medido en aforos del sistema de drenaje y (b) niveles de aguas subterráneas en pozos [Ref. 2].

(a)



(b)



Fuente: Arcadis, 2018

Finalmente, se estima el flujo total desde el depósito que representa la infiltración total desde las lamas hacia el subsuelo (es decir, lo capturado por los drenes más lo que no alcanza a ser capturado y continúa desplazándose aguas abajo por el acuífero), desde el inicio de la operación hasta diciembre del año 2017, tal como se muestra en la Figura 6-4.

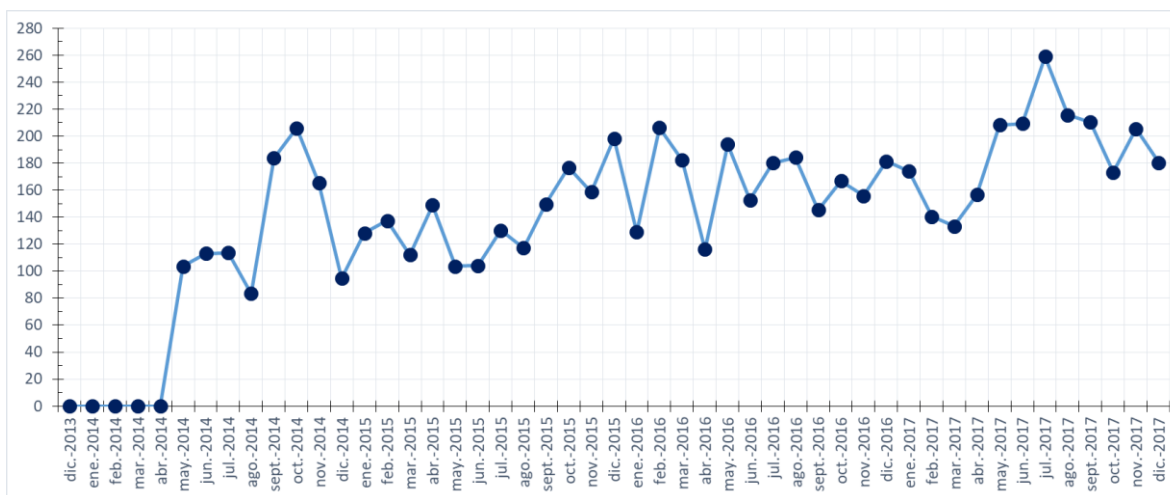
ANEXO N° 6.1

Elaborado por: Arcadis Chile

Julio, 2019

Página 13 de 19

Figura 6-4: Resultado del caudal de infiltración total desde el depósito determinado a través del modelo de infiltraciones [Ref. 2].



Es importante señalar que el modelo de infiltraciones calibrado considera una condición saturada de las lamasy del subsuelo, lo que conlleva a que las permeabilidades definidas se encuentran en la envolvente superior de sus magnitudes para cada estrato incluido en el modelo, lo que se significa que los flujos estimados corresponden a los máximos capaces de circular por los materiales representados. En otras palabras, se presenta la condición más conservadora.

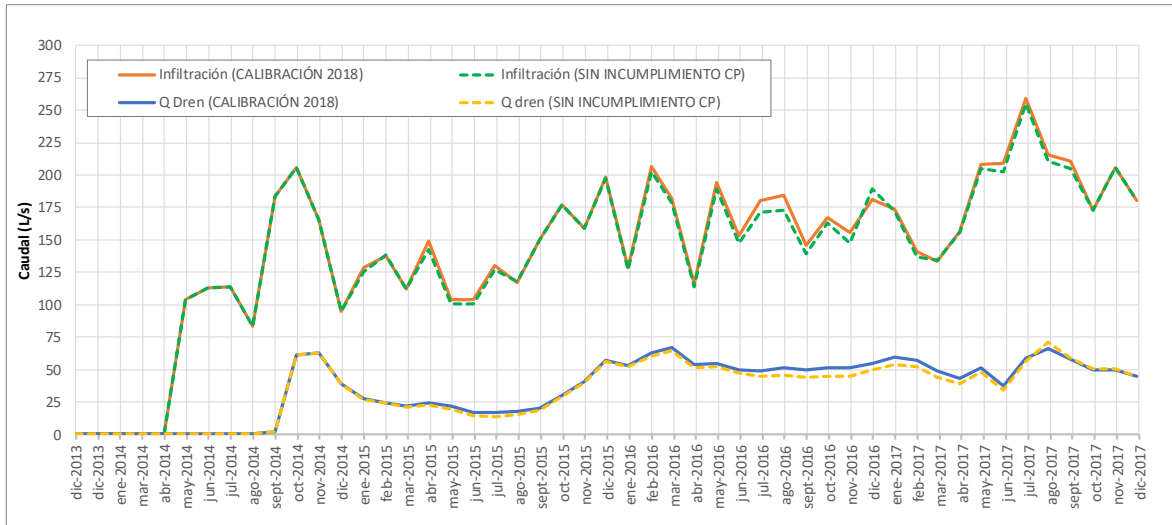
6.3 Modelo de Infiltraciones con Cp Modificado

Con el objetivo de verificar los efectos del Cp sobre el caudal de infiltraciones total y del sistema de drenajes del depósito, se desarrolló el modelo numérico usando la concentración de sólidos modificada con un valor mínimo de 55%. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6-5, donde se comparan los flujos derivados del modelo calibrado (curva verde y amarilla discontinuas), con los valores de la simulación con los parámetros modificados (curva azul y anaranjada continuas, ver sección 6.2).

Según se desprende de los resultados obtenidos, tanto los caudales de infiltración totales como los captados por el sistema de drenaje de ambas simulaciones son similares. En el caso particular de las infiltraciones totales, el modelo con Cp modificado muestra una diferencia promedio, respecto al modelo calibrado, cercana a 3 l/s y una variación máxima de ~11 l/s (o hasta alrededor de 6% de diferencia respecto a calibración). Por otra parte, en cuanto a los caudales captados por el sistema de drenaje, entre ambas simulaciones se aprecia una variación media de aproximadamente 2 l/s y una diferencia máxima de ~6 l/s (o hasta alrededor de 17% de diferencia respecto a calibración). De este modo, de los

resultados obtenidos se desprende que el Cp no tendría un impacto significativo sobre las infiltraciones.

Figura 6-5: Comparación del caudal de infiltración y del sistema de drenaje entre el modelo calibrado (usando Cp real) y el con Cp modificado a condición de cumplimiento.



El detalle de los resultados a nivel mensual se muestra en la tabla del Apéndice B.

7. CONCLUSIONES

A partir de los análisis realizados se concluye:

- Utilizando como base el balance de aguas calibrado con datos reales y aquel con el escenario en que la concentración de sólidos (C_p) no es inferior a 55%, se obtuvo una diferencia en el volumen de la laguna entre ambos escenarios en el rango de 0 m³, cuando el volumen total de esta está en torno a 300.000 m³, a 530.000 m³, cuando el volumen de la laguna de clarificación está en sus mayores niveles.
- Los resultados obtenidos a partir del modelo de infiltraciones con C_p modificado condición de cumplimiento, indican que el caudal de infiltración al subsuelo en este escenario presenta una variación que no supera el 6% del flujo obtenido mediante el modelo calibrado con datos operacionales. Es decir, no haber alcanzado un C_p de 55% en algunos meses durante el período 2015-2017 podría haber resultado en aproximadamente 3 l/s de mayores infiltraciones desde el depósito.
- Por último, cabe señalar que el efecto observado en la variación de los caudales de infiltración en el agua que fluye desde el depósito depende de múltiples factores, entre ellos, el espesor de las capas de relaves depositadas, sus características geotécnicas (permeabilidad, granulometría, succión, etc.), aspectos operacionales como el caudal de agua recuperada, la ubicación y profundidad de la laguna de clarificación, la impermeabilización del cuerpo del muro y sus estribos, entre otros factores. Por lo tanto, no existe una relación directa, lineal entre el volumen de laguna y las infiltraciones desde el depósito. Por lo que un potencial aumento del volumen de la laguna producido por una disminución del C_p de las lamas depositadas, no necesariamente representará una variación en la misma proporción de las infiltraciones desde el depósito.

8. REFERENCIAS

- [Ref. 1] Balance de Aguas La Brea (Informe N°5031-6040-RE-INF-0003). Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones. Arcadis, agosto de 2018.
- [Ref. 2] Modelo de Infiltraciones Depósito de Lamas La Brea – Informe de Actualización / Recalibración a dic 2017 y Simulación a dic 2037 y Periodo de Cierre (Informe N°5031-6640-GE-INF-0001 rev. 1). Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones. Arcadis, julio de 2018.

9. APÉNDICES

APÉNDICE A:

Resultados Variación de Laguna de Clarificación Modelo de Balance de Aguas Calibrado respecto Laguna de Clarificación con Cp Modificado.

Fecha	Volumen laguna Modelo Calibrado [km ³]	Volumen laguna Modificación Cp [km ³]	Diferencia Volumétrica [km ³]	Diferencia porcentual [l/s]
ene-15	515	515	0	0%
feb-15	346	326	-20	-6%
mar-15	740	720	-20	-3%
abr-15	769	613	-155	-20%
may-15	978	816	-162	-17%
jun-15	1.130	870	-260	-23%
jul-15	1.248	958	-290	-23%
ago-15	1.210	920	-290	-24%
sep-15	600	560	-40	-7%
oct-15	812	622	-190	-23%
nov-15	836	781	-55	-7%
dic-15	253	253	0	0%
ene-16	307	274	-33	-11%
feb-16	211	139	-72	-34%
mar-16	102	49	-53	-52%
abr-16	102	45	-57	-56%
may-16	43	51	8	19%
jun-16	494	328	-166	-34%
jul-16	699	367	-332	-48%
ago-16	496	123	-373	-75%
sep-16	756	426	-330	-44%
oct-16	698	279	-419	-60%
nov-16	1.011	574	-437	-43%
dic-16	1.755	1.318	-437	-25%
ene-17	1.889	1.441	-449	-24%
feb-17	1.645	1.183	-462	-28%
mar-17	1.645	1.183	-462	-28%
abr-17	1.625	1.164	-462	-28%
may-17	1.625	1.164	-462	-28%
jun-17	1.416	885	-531	-37%
jul-17	1.385	855	-531	-38%
ago-17	1.738	1.208	-531	-31%
sep-17	1.582	1.052	-531	-34%
oct-17	1.342	811	-531	-40%
nov-17	1.064	574	-491	-46%

Fecha	Volumen laguna Modelo Calibrado [km³]	Volumen laguna Modificación Cp [km³]	Diferencia Volumétrica [km³]	Diferencia porcentual [l/s]
dic-17	407	234	-173	-43%

APÉNDICE B:

Resultados del Caudal de Infiltración Modelo Calibrado y con Cp Modificado.

Fecha	Caudal de Infiltraciones Modelo Calibrado [l/s]	Caudal de infiltraciones con modificación Cp [l/s]	Variación porcentual infiltraciones [%]	Diferencia [l/s]
ene-15	128,3	124,9	2,6%	-3,4
feb-15	137,4	138,2	0,6%	0,8
mar-15	112,0	112,1	0,1%	0,1
abr-15	148,9	142,5	4,3%	-6,5
may-15	103,6	100,2	3,3%	-3,5
jun-15	104,1	100,9	3,1%	-3,2
jul-15	130,3	126,5	2,9%	-3,8
ago-15	117,2	117,8	0,5%	0,6
sept-15	149,6	150,0	0,3%	0,4
oct-15	176,9	177,1	0,1%	0,2
nov-15	158,7	158,7	0,0%	0,0
dic-15	198,3	197,2	0,5%	-1,0
ene-16	128,9	126,7	1,7%	-2,2
feb-16	206,2	202,7	1,7%	-3,5
mar-16	182,2	178,4	2,1%	-3,8
abr-16	116,2	113,8	2,1%	-2,4
may-16	194,0	188,9	2,7%	-5,1
jun-16	152,8	147,4	3,5%	-5,4
jul-16	180,1	171,1	5,0%	-9,0
ago-16	184,1	172,9	6,1%	-11,2
sept-16	145,4	139,5	4,1%	-5,9
oct-16	166,9	163,1	2,2%	-3,8
nov-16	155,9	147,6	5,3%	-8,3
dic-16	181,4	188,9	4,2%	7,5
ene-17	173,9	171,8	1,2%	-2,2
feb-17	140,5	136,7	2,7%	-3,8
mar-17	133,3	134,6	0,9%	1,2
abr-17	156,6	155,8	0,5%	-0,8

Fecha	Caudal de Infiltraciones Modelo Calibrado [l/s]	Caudal de infiltraciones con modificación Cp [l/s]	Variación porcentual infiltraciones [%]	Diferencia [l/s]
may-17	208,4	204,6	1,8%	-3,8
jun-17	209,3	202,4	3,3%	-6,9
jul-17	259,0	255,3	1,4%	-3,7
ago-17	215,8	210,7	2,4%	-5,2
sept-17	210,4	205,0	2,6%	-5,5
oct-17	173,2	172,7	0,3%	-0,5
nov-17	205,5	205,3	0,1%	-0,2
dic-17	180,5	180,5	0,0%	0,0

APÉNDICE C:

Antecedentes utilizados para las Referencias 1 y 2:

- Balance de Aguas La Brea (Informe N°5031-6040-RE-INF-0003). Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones. Arcadis, agosto de 2018.
- Modelo de Modelo de Infiltraciones Depósito de Lamas La Brea – Informe de Actualización / Recalibración a dic 2017 y Simulación a dic 2037 y Periodo de Cierre (Informe N°5031-6640-GE-INF-0001 rev. 1). Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones. Arcadis, julio de 2018.

APÉNDICE D:

Informes batimétricos correspondientes al período de enero de 2015 a junio de 2019.

APÉNDICE E:

Planilla xls de Balance de Aguas utilizada en los análisis del presente documento.

APÉNDICE F:

Depósito de Lamas La Brea Caserones: Instrumentación Geotécnica – Disposición en Planta (Plano N°5031-6640-GE-PLA-0002 Rev. 0). Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones. Arcadis, 2018.