



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 0

Marzo 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.....	9
6.1 General.....	9
6.2 Modelo de Infiltraciones Calibrado 2015-2017	10
6.3 Sensibilización Laguna	13
7. ESTIMACIÓN DE EFECTOS	14
7.1 General.....	14
7.2 Resultados.....	14
8. CONCLUSIONES.....	16
9. REFERENCIAS	16
10. APÉNDICES.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Concentración de sólidos (Cp) periodo 2015-2017.	6
Figura 3-1: Evolución de volumen de laguna modelo de balance y datos reales.	7
Figura 6-2: Modificación de la concentración de sólidos.	8
Figura 6-3: Evolución de volumen de laguna modelo de balance vs datos reales.	9
Figura 7-1: Vista 3D grilla del modelo numérico en MODFLOW [Ref. 2].	10
Figura 7-2: (a) Comparación entre caudal simulado y caudal medido en aforos del sistema de drenaje y (b) niveles de aguas subterráneas en pozos [Ref. 2].	11
Figura 7-3: Resultado del caudal de infiltración desde el depósito al suelo natural determinado a través del modelo de infiltraciones [Ref. 2].	12
Figura 7-4: Comparación entre caudal de infiltración obtenido de modelo de infiltración para los casos con lagunas de 300 Km ³ , 600 Km ³ y 900 Km ³	13
Figura 7-1: Caudal de infiltraciones modelo calibrado y con Cp modificado.	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: “Depositación 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, inicialmente se determinó el impacto de no alcanzar el Cp de 55% en el volumen de la laguna de aguas claras del depósito durante diferentes periodos de los años 2015, 2016 y 2017. Esto se realizó a través de un balance de aguas calibrado, en el cual se consideró un Cp mínimo de 55%, obteniendo así los volúmenes de laguna para el caso de depositar con el contenido de sólidos comprometido por SCM MLCC, estos volúmenes se compararon con los realmente medidos durante la operación y de esta manera se determinaron las diferencias entre ambos casos. Luego, el efecto ambiental de esta variación en el volumen se estimó a partir de los resultados de un modelo de infiltraciones del depósito, determinando así el caudal infiltrado adicional producto de la desviación en el Cp.

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

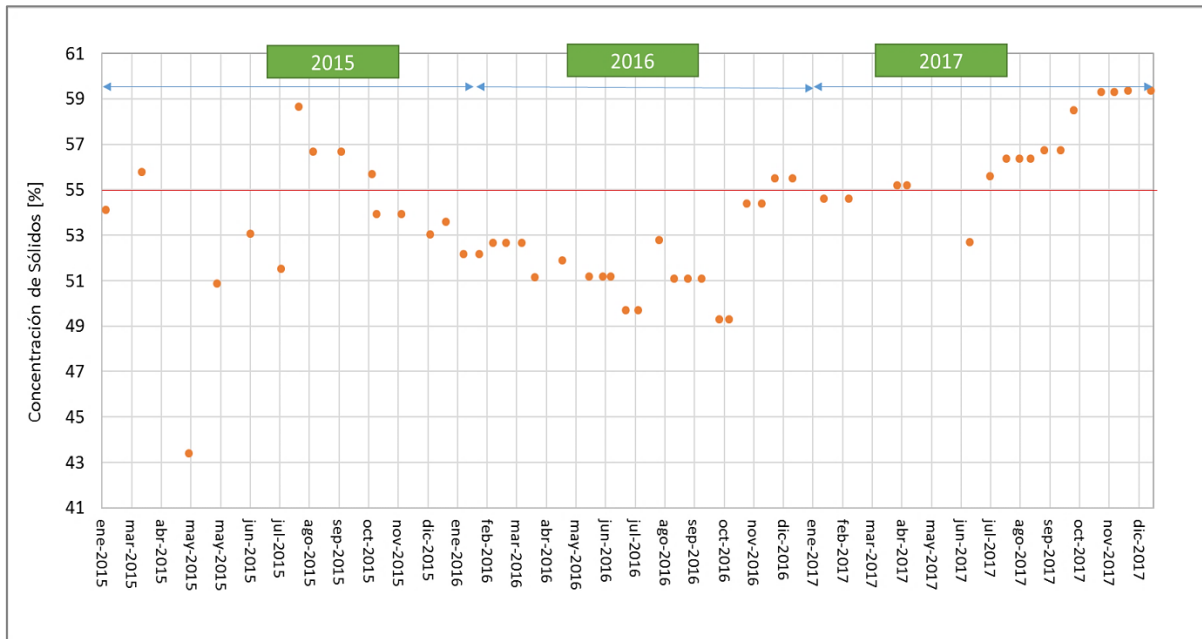
Para el desarrollo del análisis se utilizó la metodología de trabajo a continuación descrita para el período estudiado:

- 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 C_p 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 establece una relación entre el volumen de laguna y las infiltraciones totales, a partir de un modelo de infiltraciones el cual fue sensibilizado para tres (3) casos de laguna 300 Km³, 600 Km³ y 900 Km³, para el periodo 2015-2017.
- c) Utilizando como base los resultados del modelo mencionado en el punto b), se obtuvo la variación porcentual de las infiltraciones utilizando el volumen de laguna modificado obtenido en el punto a).
- d) Aplicar la variación porcentual descrita en el punto anterior al vector de infiltraciones totales del modelo calibrado [Ref. 2], para así finalmente obtener los caudales de infiltración resultantes y modificados.
- e) Analizar variación de caudales de infiltración y su comportamiento en el tiempo.

4. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS (C_p)

A partir de los datos operacionales de la concentración de sólidos en peso (C_p) 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 [%]
abr-15	43,4	may-16	51,9
may-15	50,9	jun-16	51,2
jun-15	53,1	jul-16	49,7
jul-15	51,5	ago-16	52,8
nov-15	53,9	sep-16	51,1
dic-15	53,0	oct-16	49,3
ene-16	53,6	nov-16	54,4
feb-16	52,2	ene-17	54,6
mar-16	52,7	may-17	50,3
abr-16	51,1	jun-17	52,7

5. BALANCE DE AGUAS LA BREA

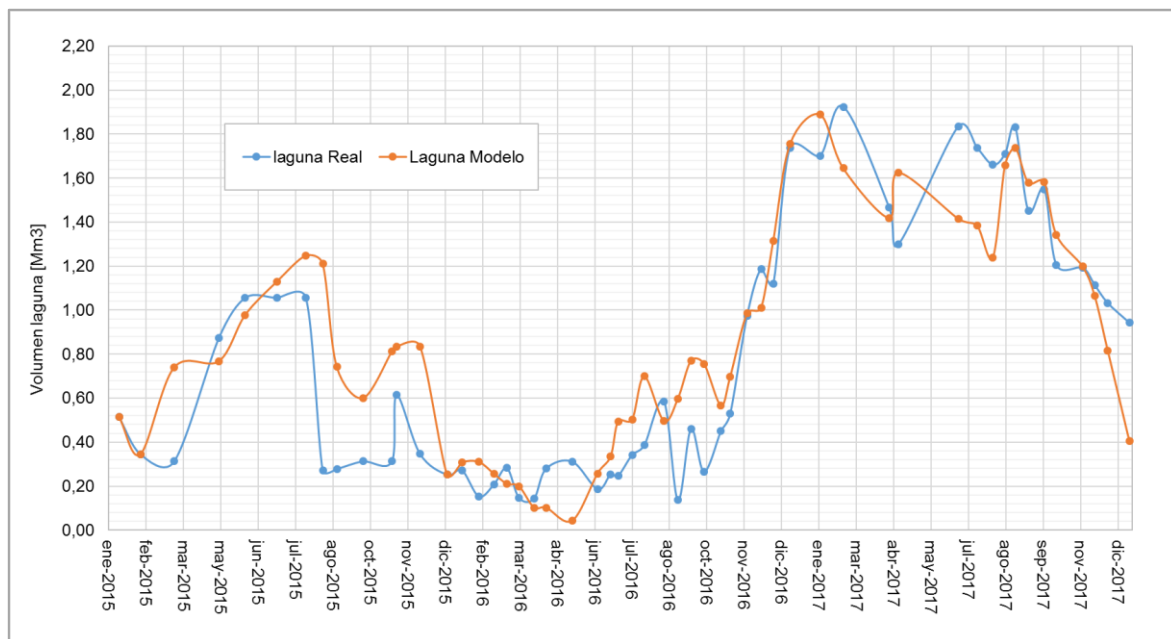
5.1 Antecedentes

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.



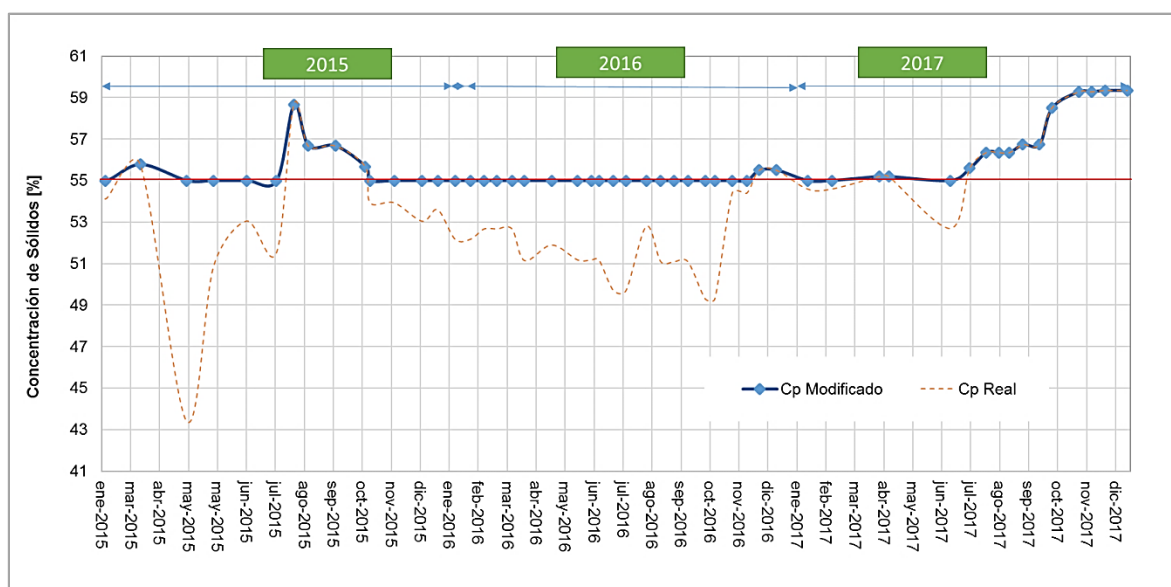
Fuente: Arcadis, 2019

5.2 Balance de Aguas Modificado

A partir del modelo del balance de agua calibrado, mencionado en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se realizó un ajuste en la concentración en peso (Cp) 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 a los meses donde el valor fue inferior a un 55%, manteniendo parámetros y criterios. 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

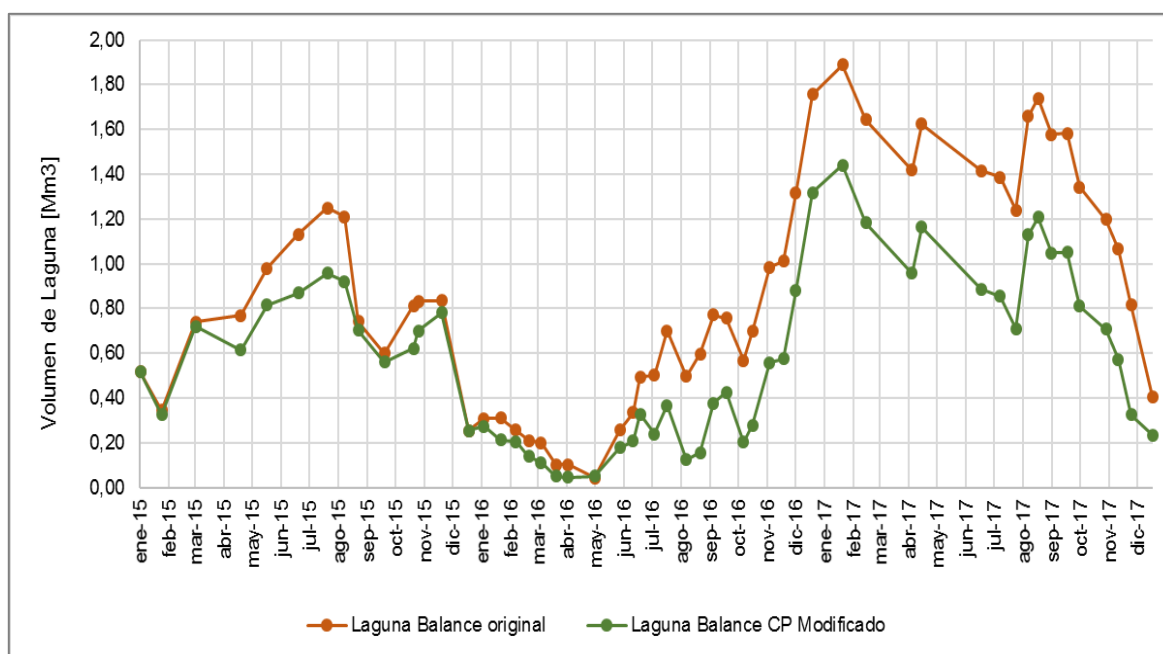
Al aumentar la concentración de sólidos de las lamas y relaves depositados ingresa menor cantidad de agua al volumen de control. Si se mantienen constante ciertas variables como son las propiedades del relave, el método de depositación, la extracción de agua desde la cubeta y el Plan Minero, habrá una 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 Cp mayores o iguales que 55%. 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 Cp 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 sistema de bombeo no puede operar para un volumen menor a 200 km³ debido a configuraciones operacionales y mecánicas del sistema.

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



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

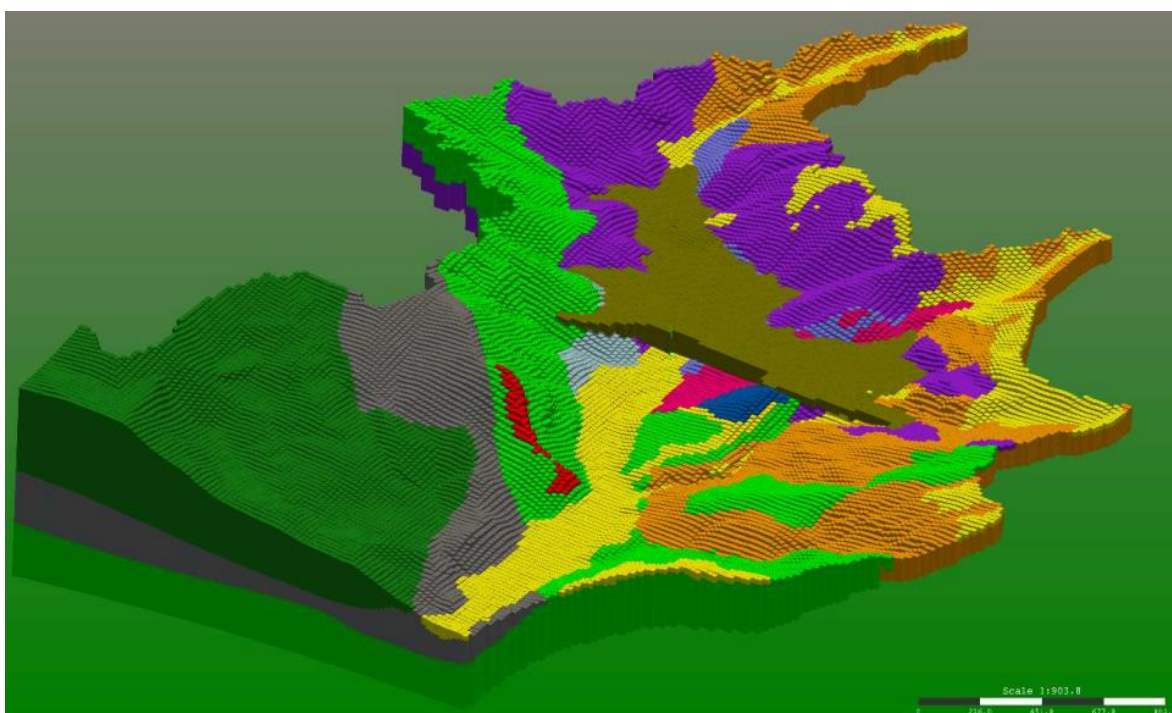
En el año 2018 Arcadis realizó la construcción de un modelo de infiltraciones calibrado [Ref. 2], a partir de información operacional histórica, principalmente con batimetrías, caudales de bombeo, aforos del sistema de drenaje, niveles de agua en los pozos de monitoreo, además de la caracterización geotécnica 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 4-3 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.

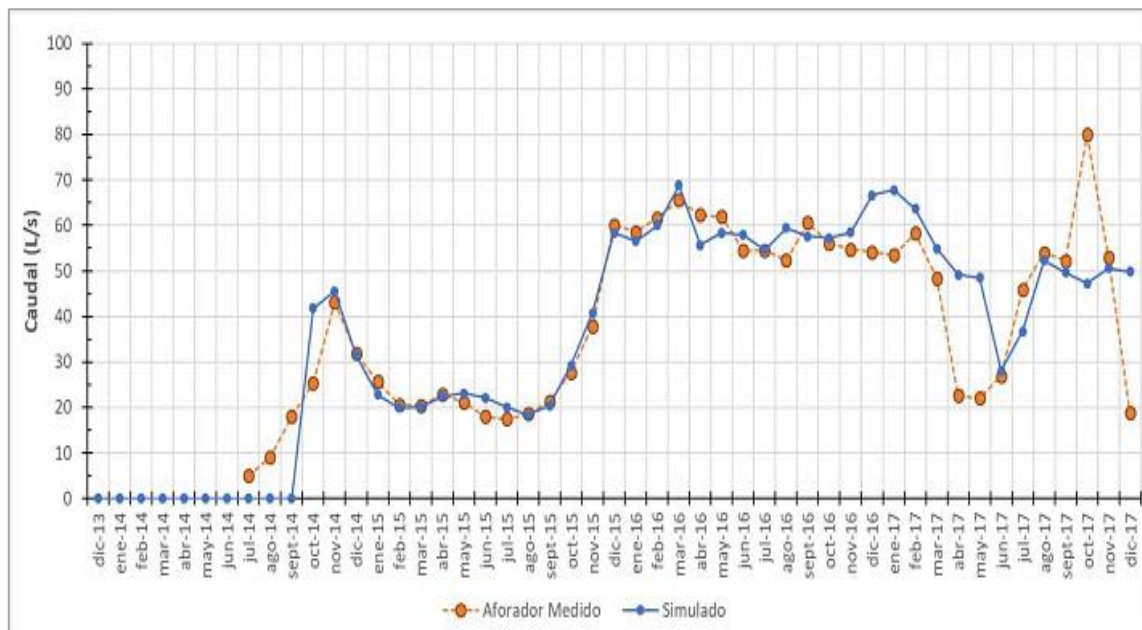
El proceso de calibración es un proceso iterativo en que inicialmente se modifican las permeabilidades, coeficiente de almacenamiento de las unidades hidrogeológicas consideradas más relevantes, para luego pasar a una calibración “asistida”, mediante el

software PEST utilizado para modelos de aguas subterráneas, buscando replicar el comportamiento registrado en el aforador del sistema de drenaje, y de los pozos aguas abajo del muro del Depósito de Lamas La Brea.

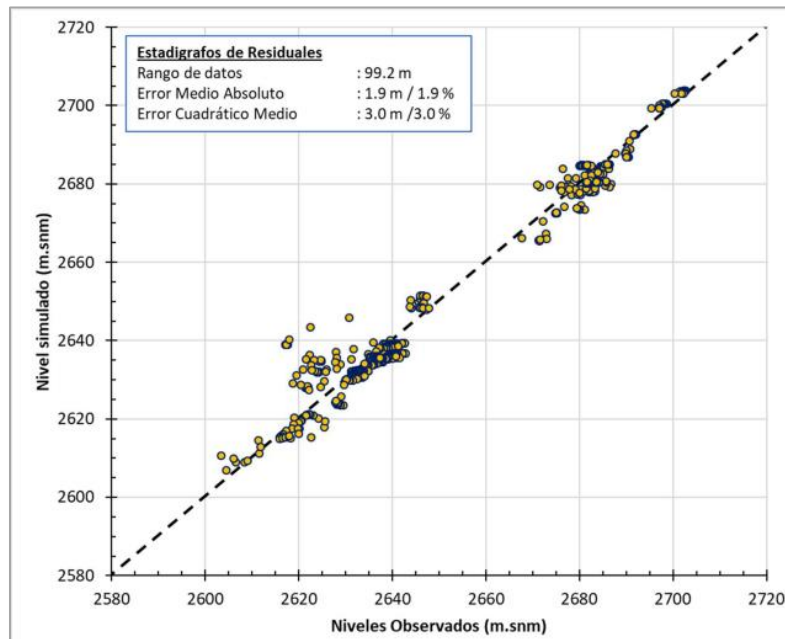
La Figura 6-2 presenta el ajuste logrado para el caudal del aforador y los niveles de agua en los pozos de monitoreo. Así, con el modelo de infiltraciones calibrado es posible representar la situación histórica en relación con el efecto que genera las infiltraciones totales del sistema, y la respuesta del acuífero frente a esto.

Figura 6-2: (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)



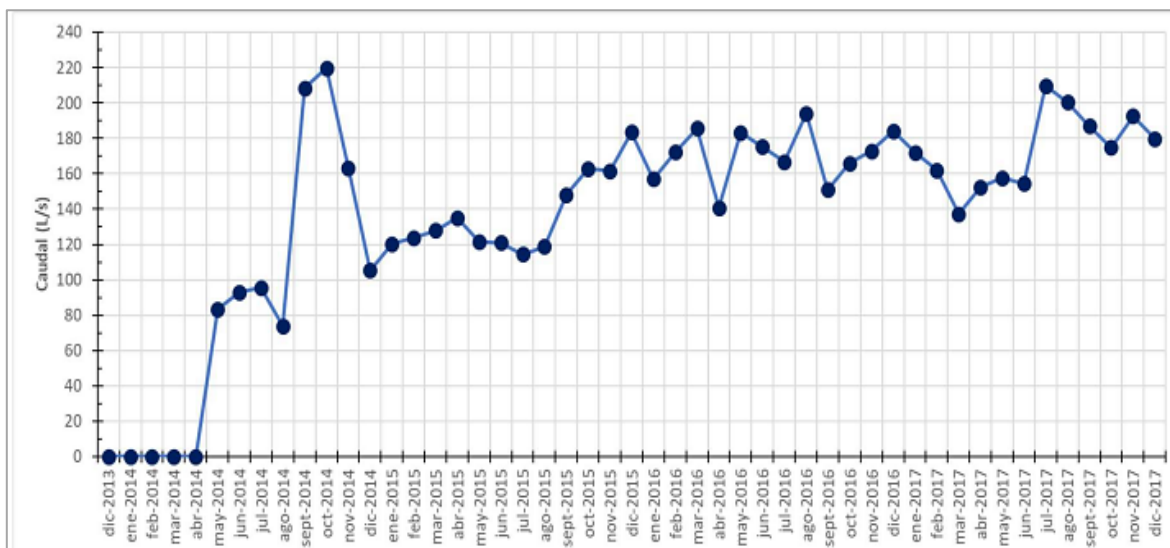
(b)



Fuente: Arcadis, 2018

Finalmente, se estima el flujo total desde el depósito que representa la infiltración total desde las lamas hacia el subsuelo, desde el inicio de la operación hasta diciembre del año 2017, tal como se muestra en la Figura 6-3.

Figura 6-3: Resultado del caudal de infiltración desde el depósito al suelo natural determinado a través del modelo de infiltraciones [Ref. 2].



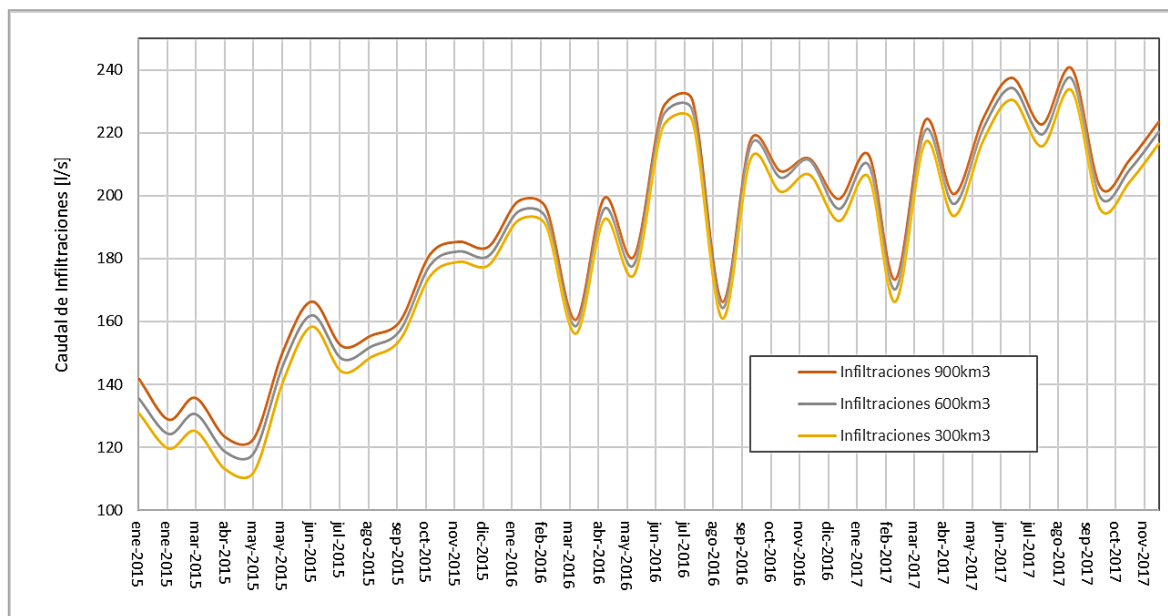
Es importante señalar que el modelo de infiltraciones calibrado considera una condición saturada de las lamas y del subsuelo, lo que conlleva a que las permeabilidades definidas se encuentran en la envolvente superior de sus magnitudes para cada estrato incluido en el modelo, lo que se significa que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

6.3 Sensibilización Laguna

En forma paralela al modelo de infiltraciones calibrado, presentado en la sección 6.2 del presente documento, Arcadis realizó en el año 2018 una sensibilización del modelo de infiltraciones del depósito de lamas con el objetivo de estimar el caudal de infiltraciones totales y su variación en el período analizado. Esta sensibilización consideró tres (3) casos de volumen de laguna, 300k m³, 600k m³ y 900k m³, para el período comprendido entre enero del 2015 y diciembre del 2017.

Los resultados indican que la variación máxima de los caudales de infiltración no supera 6 l/s, representando en promedio una variabilidad de 2%, comparando los resultados asociados a un volumen de laguna de 300 km³ con 600 km³, y a su vez, un volumen de 600 km³ con 900 km³, tal como se desprende de la siguiente gráfica en el tiempo.

Figura 6-4: Comparación entre caudal de infiltración obtenido de modelo de infiltración para los casos con lagunas de 300 Km³, 600 Km³ y 900 Km³.



Fuente: Arcadis, 2018

7. ESTIMACIÓN DE EFECTOS

7.1 General

Con el objetivo de identificar los efectos que se habrían generado al depositar lamas con una concentración de sólidos superior a 55% en el volumen de la Laguna de Clarificación y en las infiltraciones totales desde el depósito hacia el subsuelo, durante el período comprendido entre enero de 2015 a diciembre de 2017, se utilizaron los análisis y modelos descritos en los capítulos anteriores.

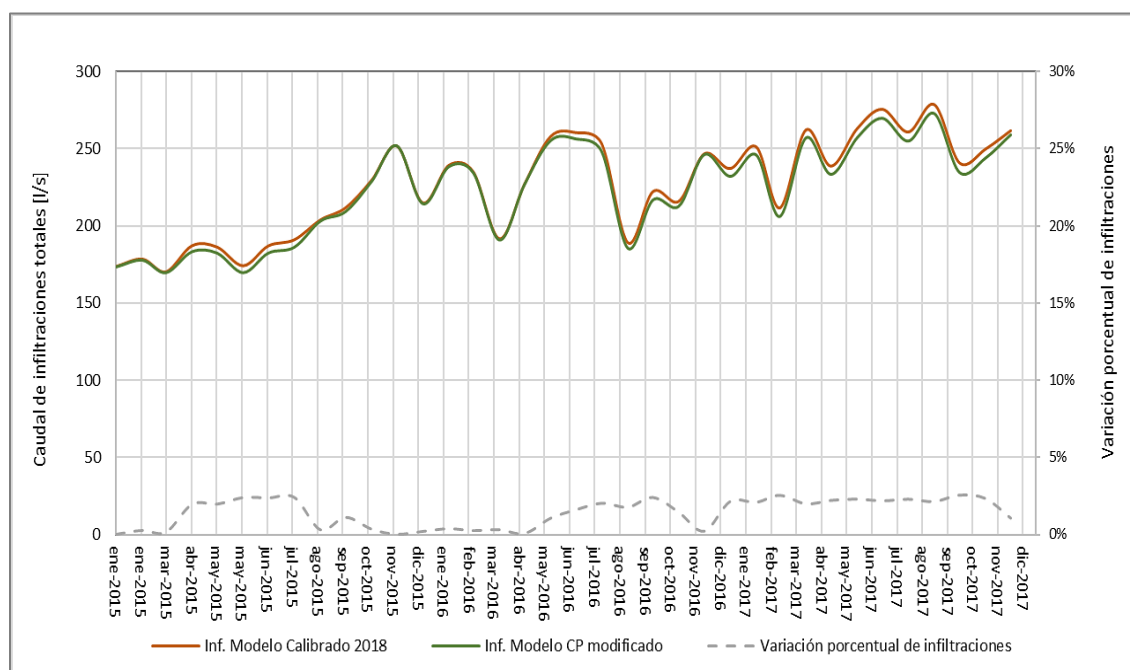
7.2 Resultados

A partir de los volúmenes de laguna obtenidos con el balance de aguas “modificado” (con un C_p mínimo de 55%), Figura 5-3, es posible obtener una magnitud estimada de las infiltraciones totales a partir del análisis de sensibilidad para diferentes volúmenes de laguna (

Figura 6-4) para el mismo mes en análisis. Con lo anterior se obtuvo una variación porcentual entre el caudal de infiltraciones asociado al volumen real de laguna en el período 2015-2017 con respecto a la infiltración con un C_p modificado.

La Figura 7-1 presenta la comparación entre el caudal de infiltración determinado con el modelo calibrado (indicado en la sección 6.2) y los caudales para el caso con C_p modificado. Además, esta figura muestra la diferencia porcentual entre ellos.

Figura 7-1: Caudal de infiltraciones modelo calibrado y con C_p modificado.



Fuente: Arcadis, 2019

El caudal de infiltraciones del caso modificado en el período analizado es levemente menor al calibrado, donde la diferencia máxima es del orden de 7 l/s (3%), y una variación promedio de 3,6 l/s (1,5%) obteniendo de este modo que el efecto de la variación del C_p no genera diferencias significativas (considerando significativas diferencias mayores a un 20%) en el total de infiltraciones desde el depósito.

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

8. CONCLUSIONES

A partir de los análisis realizados se concluye:

- Utilizando como base el modelo de balance de aguas calibrado y el modelo de infiltraciones calibrado en el Depósito de Lamas La Brea, al simular el escenario en que sobre los datos operacionales la concentración de sólidos (C_p) no es inferior a 55%, si bien se obtiene una disminución en el volumen de la laguna de clarificación en un rango que va de 0 a 530k m³, los resultados obtenidos para el caudal total de infiltración al subsuelo en este escenario no supera el 3% del caudal de infiltración total, equivalente a una disminución del caudal en aproximadamente 4 l/s como promedio, en el período 2015-2017.
- 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.

9. REFERENCIAS

- [Ref. 1] Documento “Balance de Aguas La Brea” (5031-6040-RE-INF-0003), Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones, Arcadis, Agosto 2018.
- [Ref. 2] Documento “Modelo de Infiltraciones Depósito de Lamas La Brea – Informe de Actualización / Recalibración a dic 2017 y Simulación a dic 2037 y Periodo de Cierre” (5031-6640-GE-INF-0001 Rev.0), Ingeniería para EIA Depósito de Lamas La Brea Caserones, Arcadis, Noviembre 2018.

10. 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 [Km3]	Volumen laguna Modificación Cp [Km3]	Diferencia Volumétrica [Km3]	Diferencia porcentual
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%
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	173,7	173,7	0,0%	0,0
feb-15	178,5	178,0	0,3%	-0,5
mar-15	170,2	169,9	0,1%	-0,2
abr-15	187,1	183,5	2,0%	-3,7
may-15	186,3	182,6	2,0%	-3,7
jun-15	174,1	170,0	2,4%	-4,2
jul-15	187,1	182,6	2,4%	-4,5
ago-15	191,1	186,4	2,4%	-4,6
sep-15	203,9	203,3	0,3%	-0,6
oct-15	211,8	209,4	1,1%	-2,4
nov-15	229,8	229,0	0,3%	-0,8
dic-15	252,0	252,0	0,0%	0,0
ene-16	214,9	214,5	0,2%	-0,4
feb-16	239,4	238,5	0,4%	-0,9
mar-16	235,1	234,6	0,2%	-0,6
abr-16	191,7	191,1	0,3%	-0,6
may-16	227,0	226,9	0,1%	-0,1
jun-16	258,0	255,3	1,1%	-2,7
jul-16	260,6	256,5	1,6%	-4,2
ago-16	253,3	248,1	2,0%	-5,2
sep-16	189,2	185,8	1,8%	-3,4
oct-16	222,3	216,9	2,4%	-5,4
nov-16	216,1	213,0	1,4%	-3,1
dic-16	246,8	246,3	0,2%	-0,5
ene-17	237,3	232,2	2,1%	-5,1
feb-17	251,3	246,1	2,1%	-5,3
mar-17	211,7	206,3	2,6%	-5,4
abr-17	262,3	257,1	2,0%	-5,2
may-17	238,9	233,6	2,2%	-5,3
jun-17	263,1	257,0	2,3%	-6,1
jul-17	275,8	269,8	2,2%	-6,0
ago-17	261,0	255,0	2,3%	-6,0
sep-17	278,8	272,8	2,1%	-6,0
oct-17	241,0	234,8	2,6%	-6,2
nov-17	249,9	244,1	2,3%	-5,9
dic-17	261,8	259,1	1,1%	-2,8