TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ESQUEMA CONCEPTUAL BALANCE DE AGUAS EN PISCINAS ALMACENAMIENTO 2
2.1. Esquema Conceptual 2
2.2. Elementos Esquema Conceptual 3
2.2.1. Caudal De Entrada (Q_{ent}) 3
2.2.2. Caudal Precipitación (Q_{pp}) 5
2.2.3. Caudal Evaporación (Q_{evap}) 9
2.2.4. Caudal Camiones (Q_{cam}) 10
2.2.5. Caudal Planta (Q_{plan}) 10
3. ESCENARIOS 11
3.1. Metodología 11
3.2. Resultados Escenario 1: Q_{planta} = 10 L/S 11
3.3. Resultados Escenario 2: Q_{planta} = 27 L/S 11
4. CONCLUSIONES 21
5. REFERENCIAS 22



Carlos Espinoza C.
Ingeniero Civil, Ph.D.
Representante Legal HIDROMAS

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se analizan los distintos escenarios que se pueden presentar en relación la acumulación de las piscinas de almacenamiento de aguas de contacto del Proyecto Pascua Lama, las cuales fueron diseñadas conceptualmente en el Estudio de Impacto Ambiental de dicho Proyecto "Modificaciones al proyecto Pascua Lama Ambiental, aprobado por RCA N°24/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiental de la Región de Atacama.

Los escenarios indicados se plantean en función de caudales asociados a distintos períodos de retorno, los cuales fueron derivados del modelo hidrológico desarrollado por HIDROMAS en la cuenca del río Estrecho/Chollay (HIDROMAS, 2015).

El objetivo de este análisis es determinar, bajo la condición actual de las obras del Proyecto, cuál es el caudal máximo (y el período de retorno asociado) que las piscinas pueden contener considerando una capacidad máxima total de 400.000 m^3 (cada piscina tiene una capacidad máxima de 200.000 m^3, pero para efectos del análisis que se presenta en este documento se considerará una única unidad de 400.000 m^3).

A su vez, a partir de dicho análisis se busca poder determinar la capacidad de almacenamiento del Proyecto y anticipar la ocurrencia de eventuales vertimientos, en un horizonte aproximado de 5 años durante el cual no estaría operativa la nueva planta DAR proyectada y que será presentada en un EIA durante el año 2015.

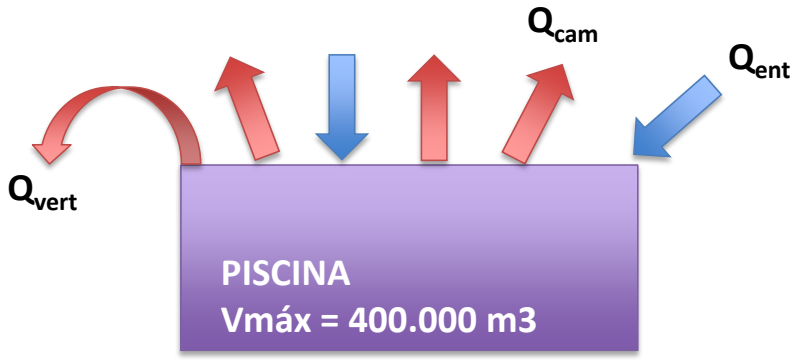
HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

2. ESQUEMA CONCEPTUAL BALANCE DE AGUAS EN PISCINAS ALMACENAMIENTO

2.1. Esquema Conceptual

Las piscinas de almacenamiento que forman parte de este análisis se ubican en el río Estrecho antes de su confluencia con la quebrada Barriales, aguas arriba de la planta ARD hoy existente. Por dicha ubicación, las entradas y salidas que se deben considerar para efectos de un balance de aguas en las piscinas son los que se indican y se muestran esquemáticamente en la Figura 2.1.

Figura 2.1
Esquema Conceptual Balance de Aguas en Piscinas de Almacenamiento



Q_{ent} : Caudal de entrada – Aguas de contacto (incluye recirculación).
Q_{pp} : Caudal precipitación que cae en la cubeta.
Q_{evap}: Caudal evaporación desde la cubeta.
Q_{cam} : Caudal extraído por el Proyecto (camiones).
Q_{plan} : Caudal derivado a la planta ARD.
Q_{vert} : Caudal de vertido en caso que se supere Vmáx.

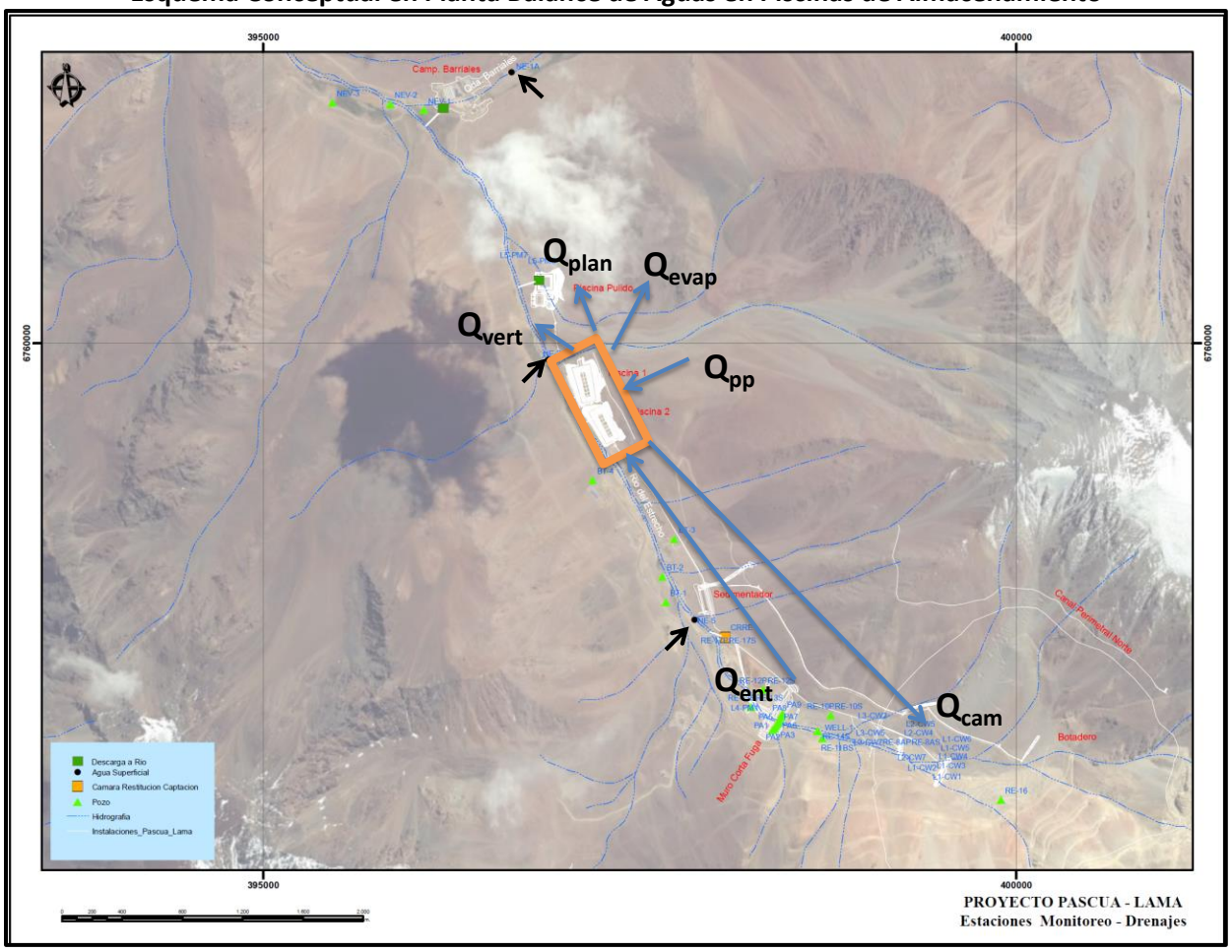
$$V_{ini} + Q_{ent} + Q_{pp} - Q_{evap} - Q_{cam} - Q_{plan} - Q_{vert} = V_{fin}$$

Fuente: Elaboración Propia.

Los mismos elementos se muestran esquemáticamente en planta en la Figura 2.2, respecto a la ubicación real de las piscinas de almacenamiento.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Figura 2.2
Esquema Conceptual en Planta Balance de Aguas en Piscinas de Almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia a partir de imagen proporcionada por Barrick.

2.2. Elementos Esquema Conceptual

A continuación se indica la fuente de información y los valores utilizados para definir los elementos antes mencionados como parte del balance conceptual.

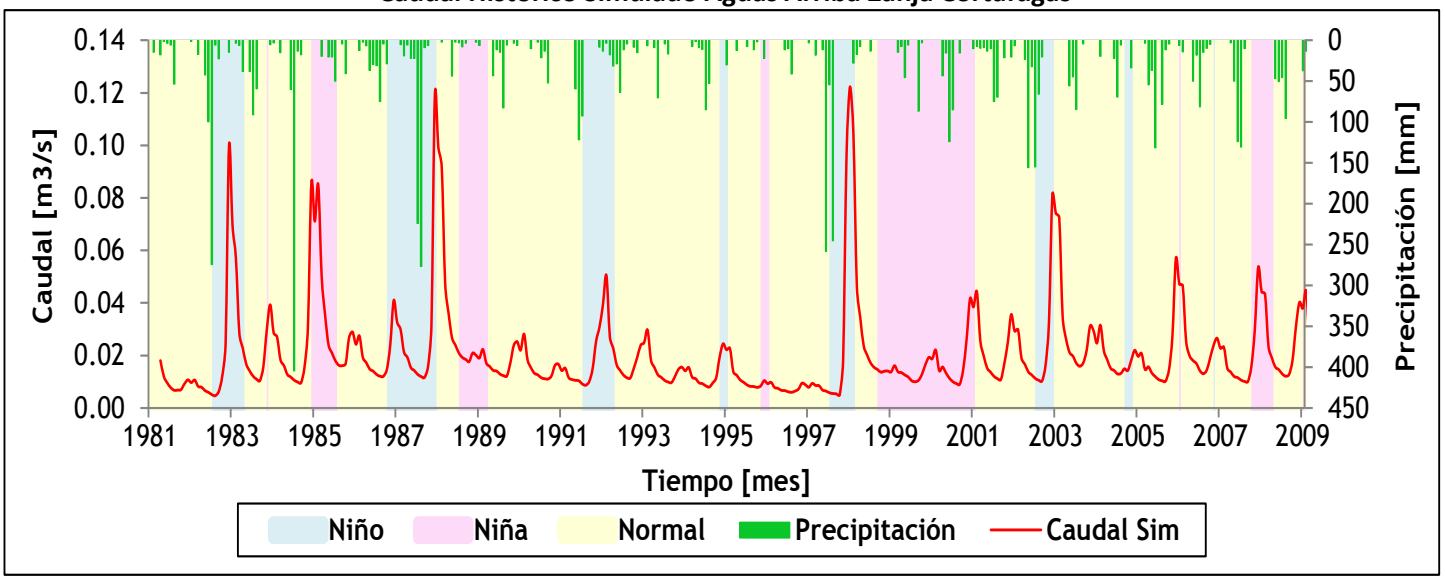
2.2.1. Caudal De Entrada (Q_{ent})

Los caudales de entrada aguas arriba del cortafugas (Q_{ent}) fueron obtenidos del modelo desarrollado por HIDROMAS en 2015. De dicho modelo se cuenta con una serie histórica de caudales medios mensuales entre 1981 y 2009, cuyo desarrollo se muestra en la Figura 2.3.

A partir de dicha serie de caudales simulados se realizó un análisis estadístico que permitió determinar que la distribución de probabilidades que mejor se ajusta es la Log-Normal. En la Figura 2.4 se muestra el volumen anual de caudal de entrada en función de distintas probabilidades de excedencia.

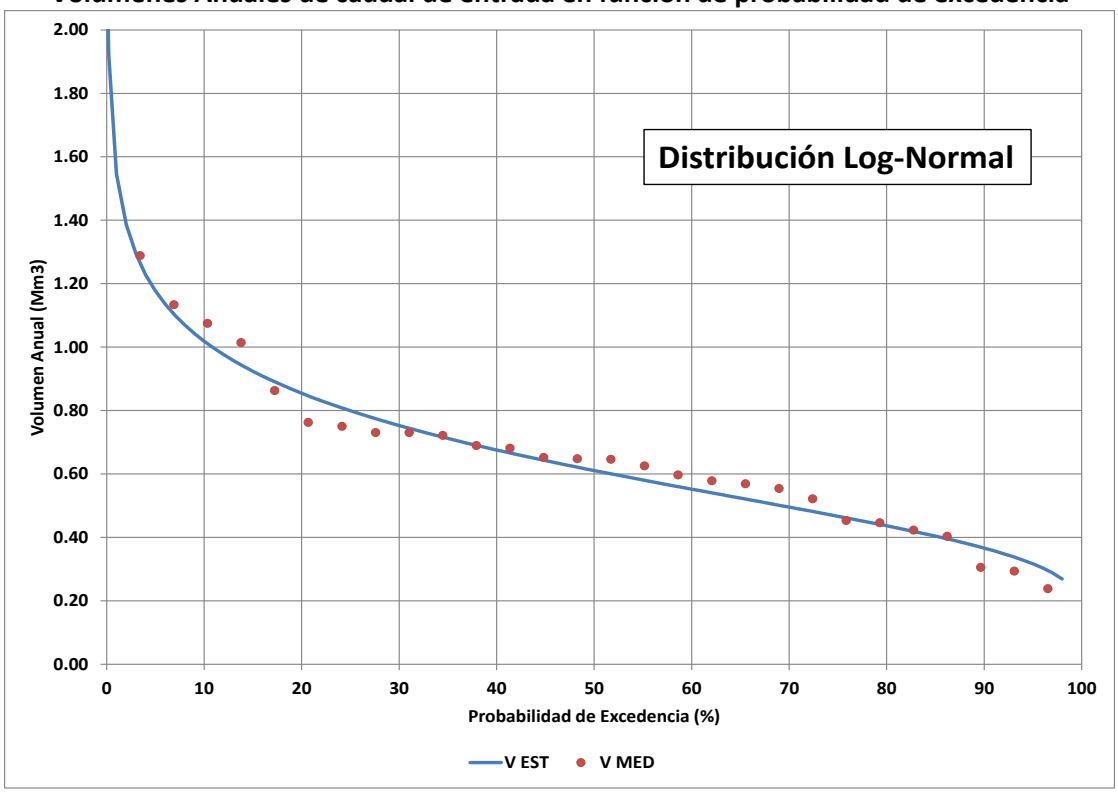
HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Figura 2.3
Caudal Histórico Simulado Aguas Arriba Zanja Cortafugas



Fuente: HIDROMAS (2015).

Figura 2.4
Volúmenes Anuales de caudal de entrada en función de probabilidad de excedencia



Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

De este análisis se estableció para distintas probabilidades de excedencia, el volumen anual asociado, y en función de la información histórica se determinó al año más similar (en términos de volumen) utilizando la distribución mensual de dicho año. De esta manera, se estimó una distribución mensual de volúmenes y caudales para los años de probabilidad de excedencia: 95%, 85%, 75%, 50%, 25%, 20%, 15%, 10%, 5% y 4%, la que se muestra en las Tablas 2.1 y 2.2.

A estos valores de caudal de entrada se le suma el caudal de recirculación, que se consideró como el 33% del caudal de inyección desfasado en 6 meses de acuerdo al análisis de Golder (2015).

Se asume que el caudal de inyección (caudal que se recircula hacia la parte alta y se inyecta) es igual al caudal extraído por camiones (Q_{cam}).

2.2.2. Caudal Precipitación (Q_{pp})

El caudal de precipitación que entra directamente a la cubeta de las piscinas se determinó a partir de las series de precipitación utilizadas por HIDROMAS (2015) para efectos del modelo de simulación hidrológica. De esta forma, para cada año de determinada probabilidad de excedencia (en términos del volumen de agua generada) se utilizó la distribución mensual respectiva de precipitación. En las Tablas 2.3 y 2.4 se resume la información de precipitación para cada año de probabilidad de excedencia analizado.

Para determinar el caudal de precipitación se multiplica la tasa de precipitación mostrada en las Tablas 2.3 y 2.4 por el área del espejo de agua que se tenga en un determinado instante (en el mes que se está evaluando) en función del volumen lleno de las piscinas. Lo anterior se hace a partir de la expresión que se muestra en la Figura 2.5.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 2.1
Volúmenes y Caudales Anuales Probabilidades de Excedencia 95%, 85%, 75%, 50% y 25%

P no exc	AÑO 5%		AÑO 15%		AÑO 25%		AÑO 50%		AÑO 75%	
Pexc	AÑO 95%		AÑO 85%		AÑO 75%		AÑO 50%		AÑO 25%	
MES	VOLUMEN (miles de m^3)	Q (m^3/s)	VOLUMEN (miles de m^3)	Q (m^3/s)	VOLUMEN (miles de m^3)	Q (m^3/s)	VOLUMEN (miles de m^3)	Q (m^3/s)	VOLUMEN (miles de m^3)	Q (m^3/s)
abr	49,2	0,019	40,7	0,015	36,4	0,014	53,4	0,020	43,2	0,016
may	32,7	0,012	33,2	0,013	34,0	0,013	48,6	0,018	36,7	0,014
jun	26,0	0,010	30,7	0,012	31,9	0,012	45,4	0,017	32,9	0,013
jul	21,1	0,008	27,6	0,011	28,0	0,011	38,2	0,015	29,7	0,011
ago	18,3	0,007	26,0	0,010	27,1	0,010	35,1	0,013	28,5	0,011
sep	18,6	0,007	25,5	0,010	28,6	0,011	38,7	0,015	28,1	0,011
oct	19,0	0,007	31,6	0,012	34,8	0,013	51,3	0,020	40,2	0,015
nov	25,0	0,010	38,8	0,015	44,9	0,017	64,3	0,024	75,5	0,029
dic	29,2	0,011	40,9	0,016	52,2	0,020	71,5	0,027	156,6	0,060
ene	26,3	0,010	37,3	0,014	50,7	0,019	61,1	0,023	129,9	0,049
feb	29,0	0,011	40,6	0,015	59,7	0,023	62,2	0,024	128,2	0,049
mar	22,4	0,009	30,9	0,012	38,5	0,015	40,6	0,015	69,6	0,026
ANUAL	316,7		403,8		466,6		610,6		799,2	

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 2.2
Volúmenes y Caudales Anuales Probabilidades de Excedencia 20%, 15%, 10%, 5% y 4%

P no exc	AÑO 80%		AÑO 85%		AÑO 90%		AÑO 95%		AÑO 96%	
Pexc	AÑO 20%		AÑO 15%		AÑO 10%		AÑO 5%		AÑO 4%	
MES	**VOLUMEN (miles de m^3)**	**Q (m^3/s)**	**VOLUMEN (miles de m^3)**	**Q (m^3/s)**	**VOLUMEN (miles de m^3)**	**Q (m^3/s)**	**VOLUMEN (miles de m^3)**	**Q (m^3/s)**	**VOLUMEN (miles de m^3)**	**Q (m^3/s)**
abr	20,6	0,008	39,7	0,015	43,8	0,017	23,1	0,009	48,3	0,018
may	17,2	0,007	32,9	0,013	36,2	0,014	18,7	0,007	38,6	0,015
jun	15,5	0,006	30,1	0,011	33,2	0,013	17,6	0,007	35,7	0,014
jul	13,2	0,005	27,0	0,010	29,7	0,011	15,8	0,006	32,0	0,012
ago	12,2	0,005	25,3	0,010	27,9	0,011	15,0	0,006	30,0	0,011
sep	16,3	0,006	24,6	0,009	27,2	0,010	14,7	0,006	29,2	0,011
oct	31,1	0,012	38,6	0,015	42,6	0,016	13,6	0,005	39,4	0,015
nov	63,8	0,024	77,3	0,029	85,3	0,032	49,3	0,019	78,9	0,030
dic	260,1	0,099	194,3	0,074	214,3	0,082	263,3	0,100	298,6	0,114
ene	181,9	0,069	177,3	0,067	195,5	0,074	333,9	0,127	248,8	0,095
feb	148,5	0,056	173,5	0,066	191,4	0,073	285,4	0,109	230,0	0,088
mar	74,1	0,028	82,9	0,032	91,5	0,035	127,2	0,048	118,9	0,045
ANUAL	854,4		923,5		1.018,5		1.177,5		1.228,3	

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 2.3
Precipitaciones Mensuales para Probabilidades de Excedencia 20%, 15%, 10%, 5% y 4%

P exc	20%	15%	10%	5%	4%
Mes	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)
abr	0,0	23,5	23,5	0,0	5,9
may	42,6	155,7	155,7	11,7	22,0
jun	99,9	32,3	32,3	258,7	22,0
jul	274,6	154,9	154,9	54,3	223,9
ago	5,9	66,1	66,1	245,2	276,8
sep	22,8	20,6	20,6	0,0	8,8
oct	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1
nov	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
dic	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0
ene	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
feb	3,7	0,0	0,0	28,1	2,4
mar	6,1	0,0	0,0	17,1	0,0

Fuente: Elaboración Propia.

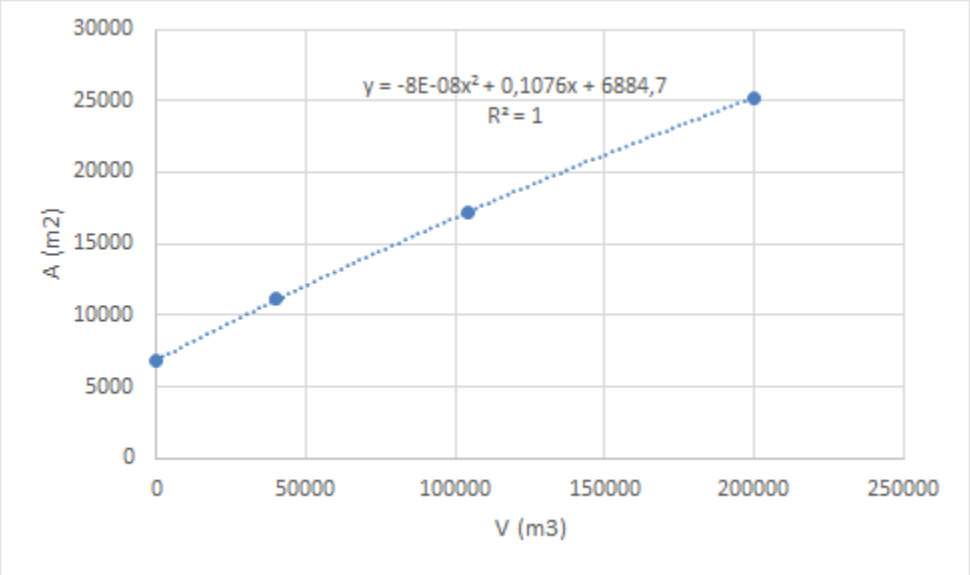
Tabla 2.4
Precipitaciones Mensuales para Probabilidades de Excedencia 95%, 85%, 75%, 50% y 25%

P exc	95%	85%	75%	50%	25%
Mes	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Pp (mm/mes)
abr	17,6	8,8	7,3	0,0	54,3
may	1,5	70,5	45,5	49,9	36,7
jun	3,7	0,0	5,9	18,4	131,4
jul	5,9	4,4	0,0	81,5	0,0
ago	53,6	16,9	0,0	14,7	78,6
sep	0,0	0,0	86,6	9,5	11,7
oct	0,0	0,0	3,1	4,9	4,3
nov	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
dic	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ene	1,2	0,0	0,0	0,0	6,1
feb	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1
mar	17,1	7,3	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Figura 2.5
Curva Área – Volumen Piscinas Almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.3. Caudal Evaporación (Q_{evap})

El caudal de evaporación que sale directamente de la cubeta de las piscinas se determinó a partir de la serie de evaporación potencial definida por Jones (2006). De esta forma, para cada año de determinada probabilidad de excedencia (en términos del volumen de agua generada) se utilizó la distribución mensual que se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5
Tasa Evaporación Potencial Mensual

Mes	Evaporación Potencial (mm/mes)
abr	95
may	75
jun	50
jul	50
ago	70
sep	100
oct	120
nov	140
dic	170
ene	180
feb	140
mar	120

Fuente: Jones (2005).

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Para determinar el caudal de evaporación se multiplica la tasa mostrada en la Tabla 2.5 por el área del espejo de agua que se tenga en un determinado instante (en el mes que se está evaluando) en función del volumen lleno de las piscinas. Lo anterior se hace a partir de la expresión que se muestra en la Figura 2.5.

2.2.4. Caudal Camiones (Q_{cam})

De acuerdo a la información proporcionada por Barrick el caudal de extracción desde las piscinas de almacenamiento (Q_{cam}) no puede superar los 57.000 m^3 por mes (1.900 m^3 por día).

Lo anterior equivale a un caudal medio mensual (continuo) de aproximadamente 22 l/s.

2.2.5. Caudal Planta (Q_{plan})

De acuerdo a la información proporcionada por Barrick el caudal de salida desde las piscinas a la planta (Q_{plan}) se asume en 10 l/s.

Se considera que la planta funciona 8 meses al año (octubre a mayo).

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

3. ESCENARIOS

3.1. Metodología

Para simular el balance hídrico en las piscinas se consideraron los siguientes elementos:

- En primer término se considerarán dos escenarios en función del caudal que sale a la planta de tratamiento: 10 l/s (valor promedio asociado a la condición actual) y 27 l/s (valor potencial de aumento de la tasa de producción de agua tratada de la planta asociado a un evento extremo).
- En segundo término se plantean dos sub-escenarios asociados al volumen inicial de las piscinas: 200.000 y 300.000 m^3.
- Para cada uno de estos casos se analizó qué sucedería para años hidrológicos de distintas Probabilidades de Excedencia: 95%, 85%, 75%, 50%, 25%, 20%, 15%, 10%, 5% y 4%.
- La idea es determinar para qué año hidrológico (en términos de caudal) se sobrepasaría la capacidad máxima de las piscinas: 400.000 m^3.

3.2. Resultados Escenario 1: Q_{planta} = 10 L/S

Para un año muy seco, de probabilidad de excedencia 95% (probabilidad de no excedencia del 5%), se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.1 y 3.2, que corresponden a un volumen inicial de 200.000 y 300.000 m^3, respectivamente.

Se observa que en ambos casos, independiente del volumen inicial, dadas las características del año hidrológico considerado (muy seco), al final de dicho período las piscinas no tendrían agua acumulada, por lo que no existen riesgos de vertimiento.

Planteando los balances de agua para las demás probabilidades de excedencia, se llega finalmente a que para un año de probabilidad de excedencia 15% (T=6,7 años), es decir un año más bien húmedo, para ambos volúmenes iniciales se tendrían vertimientos. Lo anterior se muestra en las Tablas 3.3 y 3.4.

3.3. Resultados Escenario 2: Q_{planta} = 27 L/S

Considerando el mismo análisis planteado para el Escenario 1, en las Tablas 3.5 y 3.6 se muestran los resultados para un año Pexc 5% considerando un volumen inicial de 200.000 y 300.000 m^3, respectivamente.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.1
Balance de Aguas Año Pexc 95% (T=1,05 años) $V_{inicial}$ = 200.000 m^3. Escenario 1

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	200,000	0.0187	0.00017	0.00091	0.022	0.010	163,154	0.000	163,154
may	163,154	0.0124	0	0.00064	0.022	0.010	110,105	0.000	110,105
jun	110,105	0.0099	0.00002	0.00034	0.022	0.000	77,452	0.000	77,452
jul	77,452	0.0080	0.00003	0.00028	0.022	0.000	40,101	0.000	40,101
ago	40,101	0.0070	0.00023	0.00029	0.022	0.000	466	0.000	466
sep	466	0.0071	0	0.00026	0.007	0.000	0	0.000	0
oct	0	0.0146	0	0.00031	0.014	0.000	0	0.000	0
nov	0	0.0168	0	0.00037	0.016	0.000	0	0.000	0
dic	0	0.0184	0	0.00045	0.018	0.000	0	0.000	0
ene	0	0.0173	0	0.00047	0.017	0.000	0	0.000	0
feb	0	0.0184	0	0.00037	0.018	0.000	0	0.000	0
mar	0	0.0108	0.00004	0.00031	0.011	0.000	0	0.000	0

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.2
Balance de Aguas Año Pexc 95% (T=1,05 años) $V_{inicial}$ = 300.000 m^3. Escenario 1

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	300,000	0.0187	0.00021	0.00116	0.022	0.010	262,631	0.000	262,631
may	262,631	0.0124	0	0.00085	0.022	0.010	209,044	0.000	209,044
jun	209,044	0.0099	0.00004	0.00049	0.022	0.000	176,015	0.000	176,015
jul	176,015	0.0080	0.00005	0.00044	0.022	0.000	138,284	0.000	138,284
ago	138,284	0.0070	0.00041	0.00054	0.022	0.000	98,499	0.000	98,499
sep	98,499	0.0071	0	0.00064	0.022	0.000	57,607	0.000	57,607
oct	57,607	0.0146	0	0.00059	0.022	0.010	10,272	0.000	10,272
nov	10,272	0.0168	0	0.00043	0.020	0.000	0	0.000	0
dic	0	0.0184	0	0.00045	0.018	0.000	0	0.000	0
ene	0	0.0173	0	0.00047	0.017	0.000	0	0.000	0
feb	0	0.0184	0	0.00037	0.018	0.000	0	0.000	0
mar	0	0.0158	0.00004	0.00031	0.016	0.000	0	0.000	0

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.3
Balance de Aguas Año Pexc 15% (T=6,7 años) $V_{inicial}$ = 200.000 m^3. Escenario 1

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	200,000	0.01660	0.00023	0.00091	0.022	0.010	157,739	0.000	157,739
may	157,739	0.01373	0.00130	0.00062	0.022	0.010	111,521	0.000	111,521
jun	111,521	0.01256	0.00022	0.00034	0.022	0.000	86,424	0.000	86,424
jul	86,424	0.01127	0.00092	0.00030	0.022	0.000	59,884	0.000	59,884
ago	59,884	0.01056	0.00033	0.00035	0.022	0.000	29,803	0.000	29,803
sep	29,803	0.01029	0.00008	0.00038	0.021	0.000	0	0.000	0
oct	0	0.02347	0	0.00031	0.022	0.001	0	0.000	0
nov	0	0.03963	0	0.00037	0.022	0.010	19,119	0.000	19,119
dic	19,119	0.08851	0	0.00058	0.022	0.010	166,130	0.000	166,130
ene	166,130	0.08140	0	0.00154	0.022	0.010	291,915	0.000	291,915
feb	291,915	0.07984	0	0.00168	0.022	0.010	**413,264**	0.005	400,000
mar	400,000	0.04176	0	0.00170	0.022	0.010	**421,229**	0.008	400,000

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.4
Balance de Aguas Año Pexc 15% (T=6,7 años) $V_{inicial}$ = 300.000 m^3. Escenario 1

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	300,000	0.01660	0.00029	0.00116	0.022	0.010	257,255	0.000	257,255
may	257,255	0.01373	0.00173	0.00084	0.022	0.010	211,635	0.000	211,635
jun	211,635	0.01256	0.00032	0.00050	0.022	0.000	186,393	0.000	186,393
jul	186,393	0.01127	0.00142	0.00046	0.022	0.000	160,752	0.000	160,752
ago	160,752	0.01056	0.00056	0.00059	0.022	0.000	130,636	0.000	130,636
sep	130,636	0.01029	0.00015	0.00074	0.022	0.000	98,326	0.000	98,326
oct	98,326	0.02347	0	0.00076	0.022	0.010	73,925	0.000	73,925
nov	73,925	0.03963	0	0.00077	0.022	0.010	91,991	0.000	91,991
dic	91,991	0.08851	0	0.00104	0.022	0.010	237,780	0.000	237,780
ene	237,780	0.08140	0	0.00191	0.022	0.010	362,594	0.000	362,594
feb	362,594	0.07984	0	0.00188	0.022	0.010	**483,396**	0.032	400,000
mar	400,000	0.04199	0	0.00170	0.022	0.010	**421,812**	0.008	400,000

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.5
Balance de Aguas Año Pexc 95% (T=20 años) $V_{inicial}$ = 200.000 m^3. Escenario 2

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	200,000	0.0187	0.00017	0.00091	0.022	0.027	118,478	0.000	115.436
may	118,478	0.0124	0	0.00053	0.022	0.027	21,032	0.000	14.969
jun	21,032	0.0099	0.00001	0.00017	0.018	0.000	0	0.000	0
jul	0	0.0080	0.00002	0.00013	0.008	0.000	0	0.000	0
ago	0	0.0070	0.00014	0.00018	0.007	0.000	0	0.000	0
sep	0	0.0071	0	0.00026	0.007	0.000	0	0.000	0
oct	0	0.0146	0	0.00031	0.014	0.000	0	0.000	0
nov	0	0.0168	0	0.00037	0.016	0.000	0	0.000	0
dic	0	0.0170	0	0.00045	0.017	0.000	0	0.000	0
ene	0	0.0127	0	0.00047	0.012	0.000	0	0.000	0
feb	0	0.0133	0	0.00037	0.013	0.000	0	0.000	0
mar	0	0.0108	0.00004	0.00031	0.011	0.000	0	0.000	0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.6
Balance de Aguas Año Pexc 95% (T=1.05 años) $V_{inicial}$ = 300.000 m^3. Escenario 2

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	300,000	0.0187	0.00021	0.00116	0.022	0.010	262,631	0.000	262,631
may	262,631	0.0124	0	0.00085	0.022	0.010	209,044	0.000	209,044
jun	209,044	0.0099	0.00004	0.00049	0.022	0.000	176,015	0.000	176,015
jul	176,015	0.0080	0.00005	0.00044	0.022	0.000	138,284	0.000	138,284
ago	138,284	0.0070	0.00041	0.00054	0.022	0.000	98,499	0.000	98,499
sep	98,499	0.0071	0	0.00064	0.022	0.000	57,607	0.000	57,607
oct	57,607	0.0146	0	0.00059	0.022	0.010	10,272	0.000	10,272
nov	10,272	0.0168	0	0.00043	0.020	0.000	0	0.000	0
dic	0	0.0184	0	0.00045	0.018	0.000	0	0.000	0
ene	0	0.0173	0	0.00047	0.017	0.000	0	0.000	0
feb	0	0.0184	0	0.00037	0.018	0.000	0	0.000	0
mar	0	0.0158	0.00004	0.00031	0.016	0.000	0	0.000	0

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Respecto a los resultados mostrados en las Tablas 3.1 y 3.2, se observa que el volumen acumulado se vacía mucho más rápido al considerar una planta con una mayor capacidad de tratamiento (en términos de caudal).

Planteando los balances de agua para las demás probabilidades de excedencia, se llega finalmente a que para un año de probabilidad de excedencia 5% (T=20 años), es decir un año húmedo, para ambos volúmenes iniciales se tendrían vertimientos. Lo anterior se muestra en las Tablas 3.7 y 3.8.

En este caso, se observa que al aumentar el “caudal planta” la capacidad de almacenamiento de las piscinas aumenta en términos del tipo de año hidrológico que son capaces de contener, pasando de un año 15% (con 10 l/s de caudal planta) a uno 5%.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.7
Balance de Aguas Año Pexc 5% (T=20 años) $V_{inicial}$ = 200.000 m^3. Escenario 2

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	200,000	0.00878	0	0.00091	0.022	0.027	91,929	0.000	91,929
may	91,929	0.00710	0.00007	0.00046	0.022	0.020	0	0.000	0
jun	0	0.00670	0.00068	0.00013	0.007	0.000	0	0.000	0
jul	0	0.00602	0.00014	0.00013	0.006	0.000	0	0.000	0
ago	0	0.00569	0.00064	0.00018	0.006	0.000	0	0.000	0
sep	0	0.00560	0	0.00026	0.005	0.000	0	0.000	0
oct	0	0.01250	0	0.00031	0.012	0.000	0	0.000	0
nov	0	0.02610	0	0.00037	0.022	0.004	0	0.000	0
dic	0	0.10261	0	0.00045	0.022	0.027	139,730	0.000	139,730
ene	139,730	0.12907	0	0.00139	0.022	0.027	346,503	0.000	346,503
feb	346,503	0.11063	0.00037	0.00184	0.022	0.027	504,633	0.040	400,000
mar	400,000	0.05019	0.00024	0.00170	0.022	0.027	399,323	0.000	399,323

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

Tabla 3.8
Balance de Aguas Año Pexc 5% (T=20 años) $V_{inicial}$ = 300.000 m^3. Escenario 2

Mes	V_{ini} (m^3)	Q_{ent} (m^3/s)	Q_{pp} (m^3/s)	Q_{evap} (m^3/s)	Q_{cam} (m^3/s)	Q_{planta} (m^3/s)	V_{int} (m^3)	Q_{vert} (m^3/s)	V_{fin} (m^3)
abr	300,000	0.00878	0	0.00116	0.022	0.027	191,287	0.000	191,287
may	191,287	0.00710	0.00011	0.00070	0.022	0.027	79,638	0.000	79,638
jun	79,638	0.00670	0.00147	0.00028	0.022	0.000	42,567	0.000	42,567
jul	42,567	0.00602	0.00023	0.00022	0.022	0.000	654	0.000	654
ago	654	0.00569	0.00065	0.00019	0.006	0.000	0	0.000	0
sep	0	0.00560	0	0.00026	0.005	0.000	0	0.000	0
oct	0	0.01250	0	0.00031	0.012	0.000	0	0.000	0
nov	0	0.02610	0	0.00037	0.022	0.004	0	0.000	0
dic	0	0.10752	0	0.00045	0.022	0.027	152,648	0.000	152,648
ene	152,648	0.13438	0	0.00147	0.022	0.027	373,203	0.000	373,203
feb	373,203	0.11072	0.00038	0.00191	0.022	0.027	**531,405**	0.050	400,000
mar	400,000	0.05019	0.00024	0.00170	0.022	0.027	399,323	0.000	399,323

Fuente: Elaboración Propia.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl

4. CONCLUSIONES

A partir de la información y análisis presentados en este documento, se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo a la metodología y supuestos planteados se tendría que bajo la operación "actual" del sistema (camiones, planta, evaporación) el sistema de almacenamiento (piscinas) sería capaz de tolerar (sin verter) hasta un año Pexc 15% (≈400.000 m3/año), partiendo las piscinas con un volumen ocupado de 200.000 o 300.000 m^3. Este es un escenario conservador, tanto por el porcentaje de volumen de ocupación en las piscinas como también porque se considera que la planta esté operando a un promedio de 10 l/s durante un período de 8 meses/año.

- La extracción de agua con camiones para humectación, resulta crucial para que el sistema funcione.

- Si se considera que ante eventos excepcionales (precipitaciones excepcionalmente altas) se podría operar la planta a su máxima tasa de producción de agua tratada instalada (27 l/s), el sistema de almacenamiento (piscinas) sería capaz de tolerar (sin verter) hasta un año Pexc 5% (≈1.170.000 m^3/año), partiendo con un volumen de llenado de 200.000 o 300.000 m^3.

En años hidrológicos excepcionales pexc menor a 15% (T > 7 años) o 5% (T > 20 años), según capacidad de planta, se proponen las siguientes alternativas de manejo de exceso de agua:

- Captación en cámara BE2, y reconducción del exceso directa al río sin ingresar a las piscinas de acumulación.
- Vertimiento desde las piscinas de acumulación. Las piscinas de acumulación son obras hidráulicas mayores que cuentan, por lo tanto, con sus correspondientes vertederos de emergencia.

Conforme a lo anterior, se privilegiará la utilización de la alternativa de captación en cámara BE2. Lo anterior, dado que, desde el punto de vista ambiental, esta opción evita que las aguas de mejor calidad que se reconducirían directamente al río, entren en contacto con aquellas que se mantienen acumuladas en las piscinas, las que podrían tener una peor calidad.

En ambos escenarios las condiciones hidrológicas que se tendrían generarán un efecto de dilución, aguas abajo del rio del Estrecho, haciendo probablemente imperceptible cualquier efecto en la calidad de las aguas superficiales.

5. REFERENCIAS

- Golder Associates (2015). Análisis Conceptual del Flujo Potencial de Infiltración en el río del Estrecho aguas arriba del Muro Corfugas. Memorando Técnico, 09 de febrero de 2015.
- HIDROMAS (2015). Proyecto Modelación Hidrológica de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Chollay antes Junta río Carmen, Informe Final Borrador. 13 de enero de 2015.
- Golder Associates (2005). Plan de Manejo de Aguas Parte Superior de la cuenca del río del Estrecho, Proyecto Pascua-Lama, Versión Final. Anexo II-M Adenda 2 EIA “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.
- Jones (2005). Modelo Hidrológico de la Cuenca del Río Estrecho. Final. Anexo II-G Adenda 2 EIA “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.

HIDROMAS Ltda.
Suecia 211, Oficina 1301-B,
Providencia
www.hidromas.cl