

TRATACAL S.A.

TRATACAL S.A.

ESTUDIO COEFICIENTE DE RECUPERACIÓN DE AGUAS SERVIDAS

INFORME FINAL CAMPAÑA PERIODO PUNTA

Informe Final	2	10/2015	ESM	ESM
Emitido para entrega SISS	1	10/2015	OVP	ESM
Revisión Cliente	0	09/2015	OVP	ESM
Revisión Cliente	D	09/2015	OVP	ESM
Revisión Cliente	C	08/2015	FAA	ESM
Revisión Cliente	B	08/2015	OVP	ESM
Revisión Interna	A	07/2017	OVP	ESM
Emitido para	Revisión	Fecha	Preparó	Revisó
	Cliente: 		Documento N° 1481-IP-2-MEM-02	
			Proyecto HIDROSAN N° 1481	

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	1
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

ÍNDICE


1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Antecedentes Generales	4
1.2 Antecedentes Planta Calama	4
2. OBJETIVO DEL ESTUDIO	5
3. METODOLOGÍA.....	6
3.1 Q _{AS PTAS}	7
3.2 QAS medido	7
3.3 QInfiltración.....	7
3.4 QAP facturado.....	9
3.5 QIlícitos.....	9
3.6 QRiego	9
4. RESULTADOS	10
5. VALIDACIÓN MUESTRAL	11
5.1 Introducción.....	11
5.2 Desarrollo de las mediciones	14
5.3 Resultados por sector	15
5.4 Resultado global.....	18

Anexos

- Anexo 01** Facturación de agua potable período punta
Anexo 02 Medición de caudal aguas servidas
Anexo 03 Cálculo de infiltración
Anexo 04 Riego, Estudio Estimación del Volumen de Agua para Riego de las Áreas Verdes y del Arbolado Urbano en la ciudad de Calama.
Anexo 05 Diseño muestral para estudio de coeficiente de recuperación

Planos

- 01** 1481-EF-0-SEC-AS Layout1 Definición de sectores para estudio.
02 1481-EF-0-SEC-Riego Polígonos de recuento áreas verdes.
03 1481-EF-0-SEC-Infiltración.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	3
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

Informe Ejecutivo

Estudio de Determinación del Coeficiente de Recuperación para la Ciudad de Calama

Período Punta.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

Las Bases Tarifarias establecen en su punto III.5.2.3 que el “Coeficiente de recuperación para estimar el volumen de aguas servidas que se utilizará será el valor de 0,80.

Valores distintos pueden ser utilizados en los estudios sobre la base de antecedentes fundados que lo justifiquen. Para dicho efecto la empresa deberá entregar a la Superintendencia en el plazo que indica el artículo 5° del Reglamento de Tarifas, los factores de recuperación que utilizará en su estudio junto a todos los antecedentes que justifiquen su adopción.

En caso de utilizar mediciones, las bases establecen que el estudio deberá garantizar un adecuado tratamiento estadístico de los datos. Cabe hacer presente que estas mediciones pueden estar afectadas por caudales provenientes de descargas clandestinas, infiltraciones u otras que no provienen de las aguas servidas recolectadas y que por lo tanto no corresponde considerar en el estudio tarifario. La no consideración adecuada de estos factores, en los estudios, invalidaran las conclusiones que pueden obtenerse de estas mediciones.

La Superintendencia analizará los antecedentes enviados para determinar si en si estudio los incluye, y en caso de considerar que no se cuentan con razones fundadas para la adopción del valor propuesto por la empresa, adoptará como valores indicados al comienzo de este punto, u otros que determine”.

1.2 Antecedentes Planta Calama

El coeficiente de recuperación (CR) tiene una alta incidencia al momento de definir el caudal que llegará a la planta de tratamiento, y por ende, posee un gran impacto en los costos de inversión y de operación de dicha instalación.

Un CR de 0,80, equivale a decir que el 80% del agua potable consumida va al alcantarillado y el 20% se destina a usos que no descargan en la red de colectores.

Típicamente, dado que el consumo de agua potable como bebida o para la preparación de alimentos es en realidad mínimo, el grueso del volumen que no llega al alcantarillado está asociado al riego de jardines y áreas verdes. En estas condiciones, un CR de 0,80 es un valor normal y aceptable para la zona central del país, sin embargo, su representatividad no es clara en zonas desérticas como la ciudad de Calama.

En este sentido, cabe destacar que el CR que las Bases Tarifarias imponen a Tratacal es el mismo que la SISS propuso para el resto de las empresas sanitarias del país,

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	4
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

incluyendo aquellas que operan en las zonas centro y sur, lo que claramente impide recoger las diferencias y condiciones particulares de la zona de Calama. Resulta evidente que en esta ciudad existe una menor necesidad de riego debido a las menos extensas áreas verdes lo que, naturalmente, traerá asociado un mayor coeficiente de recuperación.

Más aún, si se revisa la historia, se notará que el factor de 0,80 fue establecido como valor estándar hace algunas décadas atrás, habiéndose registrado desde entonces notables avances tecnológicos que han permitido aumentar la eficiencia de los sistemas de riego en los últimos 20-30 años. Por lo tanto, es probable que el valor anterior haya dejado de ser representativo incluso para la zona central del país.

Por otro lado, la evidencia empírica, basada en registros de caudales reales de ingreso a la planta, muestra ratios en torno a 1,00 cuando se comparan los volúmenes tratados versus aquellos facturados.

Tabla
Coeficiente de Recuperación PTAS Calama
Julio 2014 – Junio 2015

	Facturación AP	Facturado AS	Afluente PTAS	CR
Periodo Punta	3.349.005	3.216.242	3.075.435	0,96
Periodo NP	6.687.209	6.441.440	6.452.311	1,00
Total	10.036.214	9.657.682	9.527.746	0,99

En la práctica, esto significa que el caudal de diseño de la empresa modelo debería ser un 25% superior, respecto de lo que señalan las Bases Tarifarias, para reflejar las condiciones reales de operación que enfrenta Tratacal.

Sin embargo, la empresa no puede aspirar a este valor pues las Bases obligan a incorporar al análisis variables tales como la infiltración y consumos ilícitos las que, a pesar de que no pueden ser gestionadas ni controladas por TRATACAL, impactan negativamente en el valor del CR estimado. Como consecuencia de esto, el CR que finalmente podrá solicitar la empresa estará siempre por debajo de aquel más representativo.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

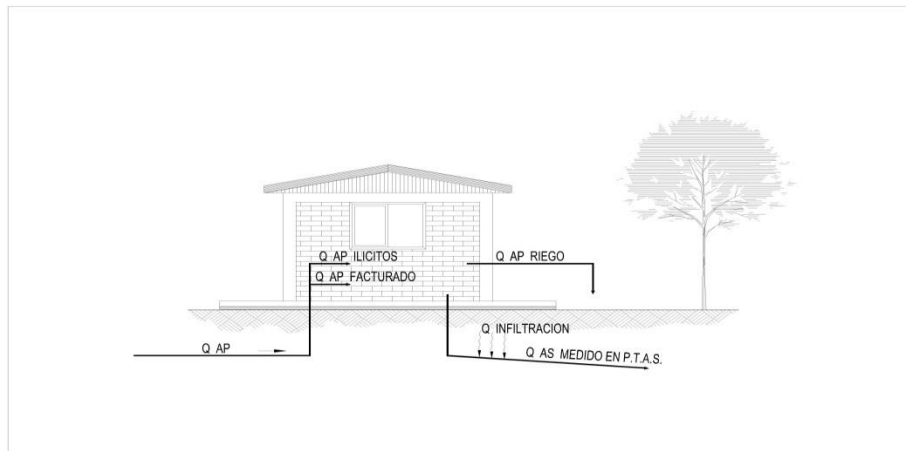
El objetivo del estudio es determinar el coeficiente de recuperación para la ciudad de Calama siguiendo las indicaciones y restricciones impuestas por las Bases Tarifarias.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	5
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

Para efectos de la empresa modelo, que tiene redes estancas (no existe infiltración de napas a la red de alcantarillado), el coeficiente de recuperación depende de la parte del consumo de agua potable que se destina a usos no conectados al alcantarillado, siendo el riego es el principal uso en que el agua no se devuelve al alcantarillado. Otros menores son lavado de automóviles, piscinas, etc.

El estudio en curso postula utilizar el volumen de control de la figura siguiente y en base a ella, utilizar la ecuación (1) para el cálculo del coeficiente de recuperación:

Figura
Esquema volumen de control para cálculo de Coeficiente de Recuperación



$$\text{Coeficiente de recuperación} = \frac{Q_{AS \text{ Medido}} - Q_{Infiltración}}{Q_{AP \text{ Facturado}} + Q_{Ilícitos}} \quad (1)$$

Donde:

$Q_{AS \text{ medido}}$ = Caudal de aguas servidas medido en la PTAS periodo diciembre 2014-marzo 2015 (Periodo Punta; 4 meses).

$Q_{Infiltración}$ = Caudal de infiltración determinado según la concentración de cloruro en el AS.

$Q_{AP \text{ facturado}}$ = Caudal de Agua Potable Facturada corresponde al total facturado por Aguas Antofagasta a los clientes AP conectados al alcantarillado durante el período punta (diciembre 2014-marzo 2015).

$Q_{Ilícitos}$ = Caudal de ilícitos de clientes de agua potable conectados al alcantarillado estimado en el año 2014 por ADASA.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	6
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

A continuación se presenta el desarrollo detrás de cada uno de los términos anteriores.

3.1 $Q_{AS PTAS}$

En el siguiente cuadro, se muestra los datos del caudal afluente a la PTAS para el periodo diciembre 2014 y marzo 2015 (periodo Punta; 4 meses).

Periodo	Caudal AS Afluente (m3)
Dic-15	780.042
Enero-15	762.300
Febrero-15	677.909
Marzo-15	855.184

3.2 Q_{AS} medido

En el siguiente cuadro, se muestra los datos de facturación de AS para el periodo diciembre 2014 y marzo 2015 (periodo Punta; 4 meses).

Periodo	Facturación AS (m3)
Dic-15	847.498
Enero-15	833.471
Febrero-15	776.006
Marzo-15	759.267

3.3 $Q_{Infiltración}$

Metodología

Se solicitó a la empresa HIDROLAB que efectuara medición de cloruros, DBO_5 , conductividad y Sólidos suspendidos Totales, en cada uno de los puntos de medición cada 3 hrs. durante 24 hrs. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua potable, muestra de aguas servidas y del río Loa para medir Cloruros y conductividad.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	7
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

De acuerdo a las mediciones efectuadas al agua potable de Calama tiene la siguiente concentración de cloruros:

Río Loa		
Fecha	Cloruro (mg/l)	Empresa
23-04-2015	1797	HIDROLAB

RED AP		
Fecha	Cloruro (mg/l)	Empresa
01-04-2015	359	HIDROLAB
15-04-2015	249	HIDROLAB
23-04-2015	346	HIDROLAB
PROMEDIO	318	

Mediante las siguientes fórmulas se puede determinar el caudal de infiltración en un lugar:

- $Q_{asn} \cdot Cap + Q_{inf} \cdot Ci = Q_{as} \cdot Cas$
- $Q_{asn} + Q_{inf} = Q_{as}$

Dónde:

Q_{asn} = Caudal de aguas servidas netas (incógnita)

Cap = Concentración de cloruros de agua potable, que correspondería a la concentración de cloruros en las aguas servidas si no hubiera infiltración (conocida de análisis)

Q_{inf} = caudal de infiltración (incógnita)

Ci = Concentración de cloruros de infiltración, que en este caso corresponden a la concentración de cloruros del río Loa (conocida de análisis)

Q_{as} = Caudal de aguas servidas (medido)

Cas = Concentración de cloruros de aguas servidas (conocida de análisis)

Como se tienen dos ecuaciones y dos incógnitas es posible despejar las ecuaciones y determinar los caudales de infiltración y de aguas servidas netas.

Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio se realizaron para siete sectores representativos de la ciudad y sus respaldos se encuentran como archivos adjuntos en la carpeta Cálculo de infiltración.

Resultados

Con los resultados de laboratorio y los valores de caudal medidos, se obtuvieron resultados por sector los cuales se presentan en detalle en el **Anexo 03 Infiltración**.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	8
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

Resumiendo y extrapolando por la cantidad de metros lineales de colectores presentes en la red de aguas servidas de Calama para el período punta se tiene lo siguiente:

Sector	Qinfiltración (L/s)	Red AS (m)
SM-01	0,36	8.246
SM-02	0,11	9.216
SM-03	0,04	4.782
SM-04	0,35	1.847
SM-05	0,78	19.214
SM-06	0,41	7.066
SM-07	0,85	14.677
Total (suma)	2,89	65.048
Índice Infiltración (L/100 km)		4,44525E-05
Total RED AS Calama (Km)		326,49
Total Infiltración (L/s)		14,51

3.4 QAP facturado

En el siguiente cuadro, se muestra los datos de facturación AP para el periodo Punta desde diciembre 2014 a marzo 2015 (4 meses).

	Facturación AP (m3)	Sobreconsumo
Diciembre-14	856.299	26.323
Enero-15	826.206	43.357
Febrero-15	765.353	41.091
Marzo-15	758.850	31.526

3.5 QIlícitos

Los volúmenes asociados a consumos ilícitos de agua potable fueron estimados a partir de información proporcionada por Aguas de Antofagasta para el período 2014-2015.

3.6 QRiego

Los volúmenes asociados al riego de áreas verdes fueron estimados a partir del “Estudio Estimación del Volumen de Agua para Riego de las Áreas Verdes y del Arbolado Urbano en la Ciudad de Calama”, el cual se presenta en el **Anexo 04**.

4. RESULTADOS

A partir de los valores determinados para cada uno de los componentes descritos anteriormente, se procedió a calcular el coeficiente de recuperación obteniéndose lo siguiente:

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido PTAS	3.075.435	QAS Medido
Infiltración	151.728	Qinfiltración
Riego Áreas Verdes	228.260	Qriego
Ilícitos AP	160.812	Qilícitos
Facturación AS	3.216.242	
Facturación AP	3.349.005	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	0,87	

5. VALIDACIÓN MUESTRAL

A continuación se presenta un ejercicio complementario desarrollado a modo de validación del resultado anteriormente obtenido.

Éste consiste en la realización de campañas de muestreo específicos en sectores representativos de la ciudad de Calama.

Este “enfoque micro” permitirá contar con un mayor nivel de datos y mediciones en terreno para sustentar el cálculo del coeficiente de recuperación.

Debe tenerse presente que, en este caso, al trabajar con subconjuntos de la red de colectores, no fue posible identificar sectores efectivamente estancos. Sin embargo, si la muestra resulta representativa de la ciudad, se espera que el conjunto de sectores ofrezca una adecuada caracterización del sistema global, que sí es estanco y cuyo CR se estimó de manera agregada en el capítulo anterior.

5.1 Introducción

El problema de determinar el coeficiente de recuperación se presenta principalmente a nivel de consumidores residenciales, que cuentan con mayor o menor superficie de áreas verdes privadas. En el caso de áreas verdes públicas, los consumos se pueden identificar como sin alcantarillado, por lo que se pueden fácilmente excluir del volumen sobre el cual se aplica el coeficiente de recuperación.

La metodología para determinar fehacientemente el coeficiente de recuperación que se propone a consideración del regulador consiste básicamente en establecer zonas o sectores dentro de la ciudad en los que pueda medirse las entradas y salidas de agua, y comparar ambos valores para determinar qué porcentaje del agua que entra se descarga al alcantarillado.

La definición de las zonas de la ciudad se hará considerando muestras representativas del total de la ciudad, considerando para ellos tipo de actividad principal (residencial, comercial, industrial, mixta), nivel socio económico, condiciones geográficas. El análisis de los sectores seleccionados y su representatividad aparecen señalados en el Anexo 05 preparado por la empresa consultora CE&D que se adjunta al presente informe.

De acuerdo a lo señalado en el **Anexo 02 Medición de Aguas Servidas**, se determinaron 7 Sectores de Medición para el estudio, los cuales aparecen emplazados en el plano anexo: 1481-EF-B-SEC-AS Layout1

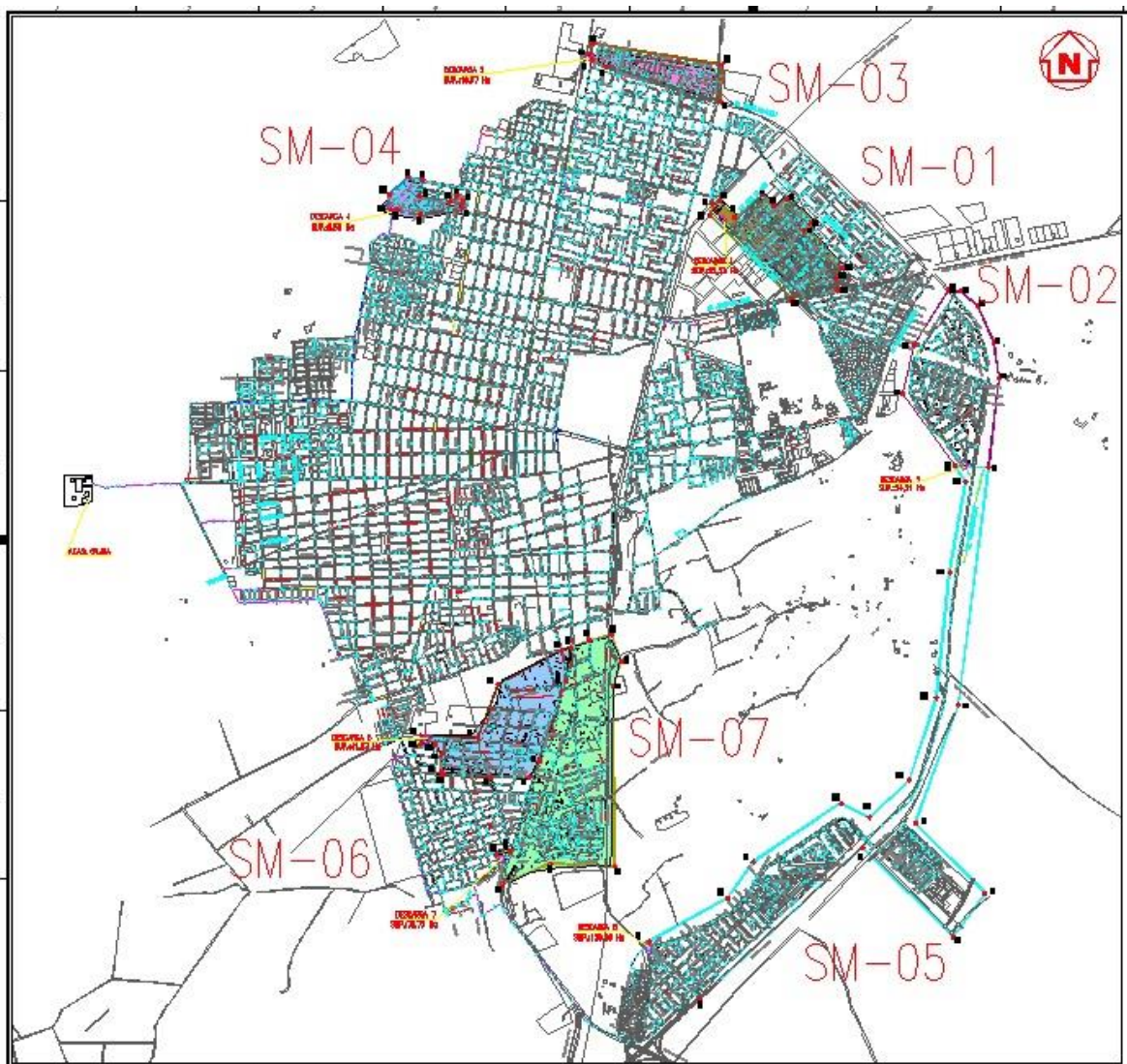
	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	11
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

La tabla y figura siguientes identifican los sectores seleccionados.

Tabla
Sectores de medición de la ciudad de Calama

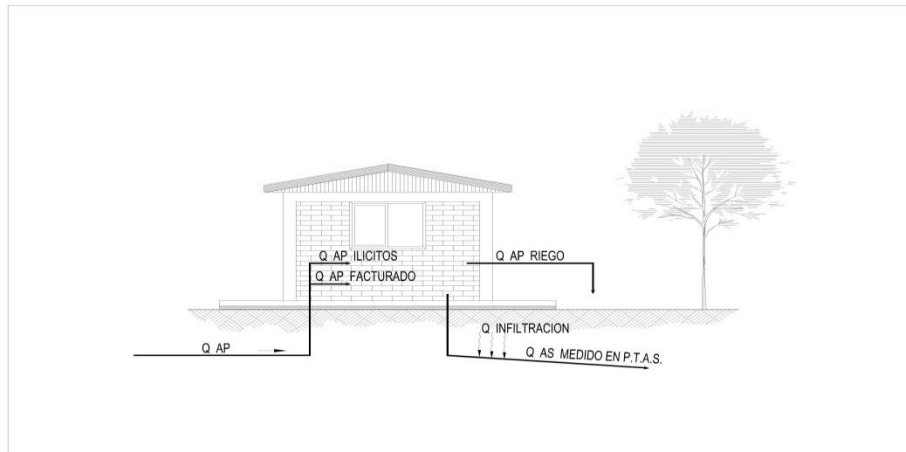
Sector	Ubicación Cámara de Medición	Clientes AP
SM-1	Quebrada Blanca esquina Inca de Oro	2.808
SM-2	Salar Pampa Blanca esquina Tarar	2.396
SM-3	Avda. Circunvalación esquina Granaderos	2.756
SM-4	Calle Bolivia	2.868
SM-5	Avenida Licarayén esquina Avenida Oasis	5.952
SM-6	Calle Aconcagua	5.358
SM-7	Blanco esquina O'Higgins	9.983

Figura
Ciudad de Calama y sectores de medición



La metodología a utilizar es análoga a la presentada para el cálculo agregado.

Esquema volumen de control para cálculo de Coeficiente de Recuperación




$$\text{Coeficiente de recuperación (CR)} = \frac{Q_{AS \text{ medido}} - Q_{infiltración}}{Q_{AP \text{ facturado}} + Q_{ilícitos}}$$

$Q_{AS \text{ medido}}$ = Caudal de aguas servidas medido por el equipo de control de cada sub-cuenca, proyectado al período punta. Las mediciones efectuadas se encuentran detalladas en el **Anexo 02-A Medición de Aguas Servidas**.

$Q_{infiltración}$ = Caudal de infiltración medido según la concentración de cloruro en el AS de acuerdo a la metodología establecido en el **Anexo 03 Infiltración**.

$Q_{AP \text{ facturada}}$ = Caudal de Agua Potable Facturada corresponde al total facturado por Aguas Antofagasta a los clientes conectados al alcantarillado para el sector de control durante el período punta (diciembre 2014-marzo 2015), información que se muestra en el **Anexo 01-A Facturación AP**, depurado por consumo de jardines y áreas verdes.

$Q_{ilícitos}$ = Caudal de ilícitos de agua potable estimado en el año 2014-2015 por ADASA.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	13
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

- En el esquema se indica que las aguas servidas netas corresponden a la suma del agua potable facturada, los ilícitos y la resta de lo que se utiliza para riego
- A su vez las aguas servidas netas más la infiltración corresponden a las aguas servidas que fluyen por el alcantarillado.
- Por lo tanto, para hacer un cociente efectivo, hay que descartar las abstracciones, por lo que al agua residencial que ingresa al alcantarillado debe sustraerse el agua de riego (ya que ésta no vuelve al alcantarillado, es absorbida por la vegetación), por esta razón se resta en el denominador.
- Para que el análisis sea consistente, la infiltración debe restarse en el numerador al caudal de aguas servidas registrada en el punto de descarga.

5.2 Desarrollo de las mediciones

Las mediciones se efectuaron durante un período suficiente y representativo, el que fue de 23 días efectivos durante el mes de febrero, por lo que los volúmenes de entrada y salida serán cuantificados en $m^3/\text{período de punta}$, es decir total de m^3 de los meses de diciembre 2014, enero 2015, febrero 2015 y marzo 2015.

Las mediciones de caudales de salida a través de los colectores de cada área tributaria seleccionada fueron realizados en cada punto de forma simultanea durante el período de medición comprendido entre los días 06 y 28 de febrero de 2015, con el fin de disponer de suficientes datos que permitan obtener un promedio representativo del período punta (diciembre - marzo).

Con respecto a los trabajos, para las mediciones de caudales de alcantarillado, se consideró primero revisar físicamente cada uno de los puntos de medición seleccionados para encontrarlos limpios y aptos para el trabajo. Los caudales fueron medidos con equipos portátiles que registraron datos con frecuencia de 1 minuto, a partir de sensor tipo área / velocidad instalado al interior del tubo.

Cada medición consta de 23 días de registro continuo con 288 mediciones diarias. Con los volúmenes diarios medidos en cada punto, se obtuvo un promedio diario y se extrapoló a un caudal de aguas servidas durante el período punta.

Para la determinación de áreas verdes de los clientes residenciales se analizaron las zonas con fotos aéreas de Google Earth Pro y con fotos terrestres tomadas por Google Street View, de esta manera se pudo verificar su presencia y magnitud, de modo de asegurar la superficie total que se utilizará para el descuento de aguas de riego, en el caso que corresponda.

Para ilícitos se estimó su magnitud en función a varios aspectos, los que cuales fueron aportados por el concesionario de agua potable Aguas Antofagasta (ADASA).

La unidad de control de ilícitos de ADASA realiza recorridos periódicos de todos los ruteos que permiten identificar condiciones que insinúen presencia de ilícitos, como por ejemplo, antejardines más extensos o más verdes que la vecindad, consumos muy bajos respecto

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	14
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

de la vecindad, consumo bajo para el nivel socio económico y tamaño de la vivienda, etc. Luego, se realiza una revisión al detalle de los resultados de los análisis y mediciones efectuadas y se hace una revisión de los micromedidores de los clientes seleccionados.

Finalmente se procesaron los datos recopilados, se realizó la estimación por sector definidas en la metodología y se procesó la información medida durante el período de análisis, para cada sector, y se conformará un cuadro con el balance de entradas y salidas de cada uno, todas expresadas en m³/período punta, vale decir, valores asociados a los meses punta (diciembre 2014 a marzo 2015).

5.3 Resultados por sector

En los siguientes cuadros se presenta los resultados obtenidos del Coeficiente de Recuperación de los sectores monitoreados en la ciudad de Calama SM-1 a SM-7 (siete sectores).

Sector Medición SM-01

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	78 513	QAS Medido
Infiltración	3 742	Qinfiltración
Ilícitos AP	2 635	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	52.695	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	1,35	

Sector Medición SM-02

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	33 179	QAS Medido
Infiltración	1 163	Qinfiltración
Ilícitos AP	2 655	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	53 103	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	0,57	

Sector Medición SM-03

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	24 179	QAS Medido
Infiltración	417	Qinfiltración
Ilícitos AP	1 746	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	34 918	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	0,65	

Sector Medición SM-04

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	66 554	QAS Medido
Infiltración	3 640	Qinfiltración
Ilícitos AP	1 715	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	34 295	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	1,75	

Sector Medición SM-05

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	166 068	QAS Medido
Infiltración	8 122	Qinfiltración
Ilícitos AP	6.971	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	139.426	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	1,08	

Sector Medición SM-06

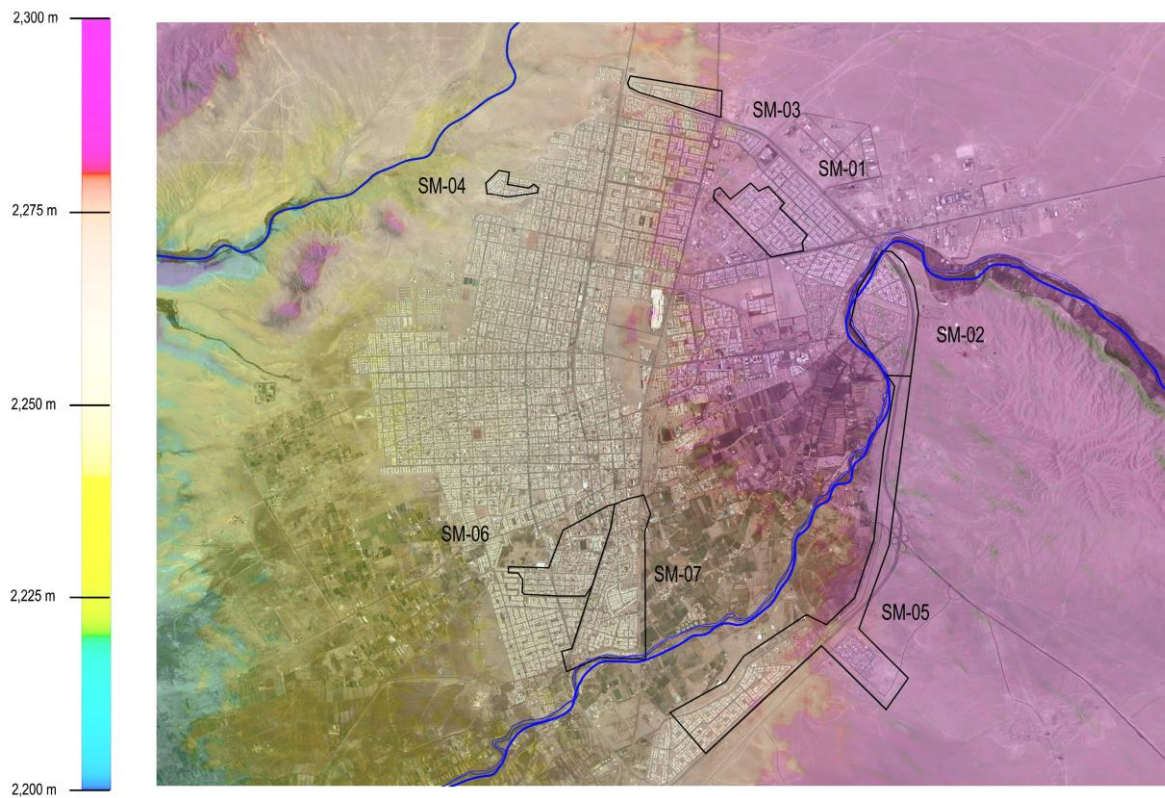
Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	67 997	QAS Medido
Infiltración	4 263	Qinfiltración
Ilícitos AP	4 186	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	83.726	QAP Facturado
Facturación AP Clientes AS	0,72	


Sector Medición SM-07

Caudal Periodo Punta Dic. 2014-Marzo 2015	m3/año	Variable
Aguas Servidas Medido	143 101	QAS Medido
Infiltración	8 884	Qinfiltración
Ilícitos AP	9 860	Qilícitos
Facturación AP Clientes AS	197.204	QAP Facturado
Coeficiente Recuperación (CR)	0,65	

En forma complementaria al análisis presentado anteriormente, los siguientes cuadros (sector alto y sector bajo) muestran el resultado obtenido (análisis coeficiente recuperación) resultante de agrupar los sectores de monitoreo en la ciudad de Calama en sector alto, donde se puede deducir que la infiltración por napa no es relevante y bajo, donde la influencia del río y ergo la presencia de napa sería importante.

Como se aprecia en la figura siguiente, los sectores de monitoreo SM-03, SM-01, SM-02 y SM-05 (norte a sur) se encuentran en la parte alta de la ciudad. Asimismo, los sectores de monitoreo SM-07, SM-06 y SM-04 (sur a norte) están emplazados en la parte de baja de la ciudad de Calama.



	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	17
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

De acuerdo al análisis anterior, el CR obtenido al agrupar los sectores de monitoreo en la ciudad de Calama en sector alto y bajo es el siguiente:

Sector Alto (SM 1,2,3 y 5)

Sector Monitoreo	CR	Cientes AP	Prorratio Cientes AP	CR (Cientes)	Consumos AP m3	Prorratio Consumos AP	CR (Consumos AP)
SM-1	1,35	2.808	20,2%	0,27	53.080	18,8%	0,25
SM-2	0,57	2.396	17,2%	0,10	53.564	19,0%	0,11
SM-3	0,65	2.756	19,8%	0,13	34.926	12,4%	0,08
SM-5	1,08	5.952	42,8%	0,46	140.650	49,8%	0,54
		13.912	100%	0,96	282.221	100%	0,98

Sector Bajo (SM 4,6 y 7)

Sector Monitoreo	CR	Cientes AP	Prorratio Cientes AP	CR (Cientes)	Consumos AP m3	Prorratio Consumos AP	CR (Consumos AP)
SM-4	1,75	2.868	15,8%	0,28	34.298	10,8%	0,19
SM-6	0,72	5.358	29,4%	0,21	84.053	26,5%	0,19
SM-7	0,65	9.983	54,8%	0,36	199.290	62,7%	0,41
		18.209	100%	0,84	317.641	100%	0,79

De las tablas anteriores, se puede extrapolar que no hay correlación entre sectores de muestreo con eventual influencia de napa con sectores de muestreo donde dicho efecto no sería relevante.

5.4 Resultado global

Los resultados del estudio se resumen en la siguiente Tabla en donde el Coeficiente de Recuperación de Calama para el período punta de cada sector de control se pondera por el número de clientes en agua potable conectados al alcantarillado asociado.

Sector Monitoreo	CR	Cientes AP	Prorratio Cientes AP	CR (Cientes)	Consumos AP m3	Prorratio Consumos AP	CR (Consumos AP)
SM-1	1,35	2 808	8,7%	0,12	53 080	8,8%	0,12
SM-2	0,57	2 396	7,5%	0,04	53 564	8,9%	0,05
SM-3	0,65	2 756	8,6%	0,06	34 926	5,8%	0,04
SM-4	1,75	2 868	8,9%	0,16	34 298	5,7%	0,10
SM-5	1,08	5 952	18,5%	0,20	140 650	23,4%	0,25
SM-6	0,72	5 358	16,7%	0,12	84 053	14,0%	0,10
SM-7	0,65	9 983	31,1%	0,20	199 290	33,2%	0,22
		32 121	100%	0,89	599 862	100%	0,88

De la tabla resumen anterior se determinó un coeficiente de recuperación del **88,92%** de las aguas servidas netas.

Anexo 01-A Facturación de agua potable en período punta (Clientes AP que descargan a AS)

En el siguiente cuadro, se muestra los datos de facturación por sector de monitoreo de AP para el periodo Punta desde diciembre 2014 a marzo 2015 (4 meses).

	Facturación AP (m3) (Periodo diciembre 2014-marzo2015)
SM-01	52.695
SM-02	53.103
SM-03	34.918
SM-04	34.295
SM-05	139.426
SM-06	83.726
SM-07	197.204

Anexo 01-B Facturación de agua potable en período punta (Todos los clientes AP)

En el siguiente cuadro, se muestra los datos de facturación AP para el periodo Punta desde diciembre 2014 a marzo 2015 (4 meses).

	Facturación AP (m3)	Sobreconsumo
Dec-14	856 299	26 323
Jan-15	826 206	43 357
Feb-15	765 353	41 091
Mar-15	758 850	31 526

Anexo 02-A Medición de caudal de aguas servidas

En el siguiente cuadro, se muestra los datos de facturación AS medido en cada cuenca (siete sectores de monitoreo), febrero 2015.

Sector	Medición AS (m3) (Periodo junio-julio 2015)
SM-01	78.513
SM-02	33.179
SM-03	24.179
SM-04	66.554
SM-05	166.068
SM-06	67.997
SM-07	143.101

Anexo 02-B Medición de caudal de aguas servidas

En el siguiente cuadro, se muestra los datos de facturación de AS para el periodo diciembre 2014 y marzo 2015 (periodo Punta; 4 meses).

Periodo	Facturación AS (m3)
dic-14	780.042
ene-15	762.300
feb-15	677.909
mar-15	855.184

Anexo 03 Cálculo de infiltración

Introducción

Al revisar los primeros datos obtenidos en terreno, se apreció que algunos valores en cloruros medidos de aguas servidas no correspondían a los que se esperaban en base al consumo de agua potable, por lo que se determinó realizar un análisis en base al método de los cloruros para determinar los caudales de infiltración en cada uno de los sectores.

Metodología

Se solicitó a la empresa HIDROLAB que efectuara medición de cloruros, DBO₅, conductividad y Sólidos suspendidos Totales, en cada uno de los puntos de medición cada 3 hrs. durante 24 hrs. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua potable y del río Loa para medir Cloruros y conductividad.

De acuerdo a las mediciones efectuadas al agua potable de Calama tiene la siguiente concentración de cloruros:

RED AP		
Fecha	Cloruro (mg/l)	Empresa
04/1/15	359	Hidrolab
04/15/15	249	Hidrolab
04/23/15	346	Hidrolab
Promedio	318	

Mediante las siguientes fórmulas se puede determinar el caudal de infiltración en un lugar:

$$3. \quad Q_{asn} * Cap + Q_{inf} * Ci = Q_{as} * Cas$$

$$4. \quad Q_{asn} + Q_{inf} = Q_{as}$$

Dónde:

Q_{asn}= Caudal de aguas servidas netas (incógnita)

Cap= Concentración de cloruros de agua potable, que correspondería a la concentración de cloruros en las aguas servidas si no hubiera infiltración (conocida de análisis)

Q_{inf}= caudal de infiltración (incógnita)

Ci= Concentración de cloruros de infiltración, que en este caso corresponden a la concentración de cloruros del río Loa (conocida de análisis)

Q_{as}= Caudal de aguas servidas (medido)

Cas= Concentración de cloruros de aguas servidas (conocida de análisis)

Como se tienen dos ecuaciones y dos incógnita es posible despejar las ecuaciones y determinar los caudales de infiltración y de aguas servidas netas.

Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio se encuentran como archivos adjuntos en la carpeta Cálculo de infiltración.

Los resultados se encuentran resumidos en la siguiente tabla.

PARAMETROS DE MUESTRAS COMPUESTAS AFLUENTE SIN LIMPIA FOSAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Con los resultados de laboratorio y los valores de caudal medidos, se obtienen los siguientes resultados:

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
SM1	1	9-Feb	7,23	397	0,39	6,85
	2	17-Feb	6,86	389	0,33	6,53
Promedio			7,05	393	0,36	6,69

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
SM2	1	10-Feb	7,75	372	0,28	7,47
	2	11-Feb	2,23	325	0,01	2,22
	3	12-Feb	2,28	344	0,04	2,24
Promedio			4,09	347	0,11	3,98

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
SM3	1	13-Feb	1,01	406	0,06	0,95
	2	14-Feb	1,80	354	0,04	1,76
	3	16-Feb	3,25	325	0,02	3,23
Promedio			2,02	362	0,04	1,98

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
Cámara 4	1	19-Feb	5,85	406	0,35	5,50
Promedio			5,85	406	0,35	5,50

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
Cámara 5	1	20-Feb	13,06	406	0,78	12,28
	2	24-Feb	13,72	270	-0,45	14,16
Promedio			13,39	338	0,78	13,22

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
Cámara 6	1	25-Feb	4,44	397	0,24	4,20
	2	26-Feb	8,90	397	0,48	8,43
	3	27-Feb	9,56	397	0,51	9,05
Promedio			7,63	397	0,41	7,23

Sector	Muestra (compuestas)	Fecha	Q AS Med (L/s) (Qas)	Cloruros (mg/l) (Cas)	Qinfiltración (L/s)	Qasn (L/s)
Cámara 7	1	28-Feb	14,78	277	-0,41	15,19
	2	2-Mar	16,53	397	0,88	15,65
	3	3-Mar	15,29	397	0,82	14,47
Promedio			15,53	357	0,85	15,10

Resumiendo y extrapolando por la cantidad de metros lineales de colectores presentes en la red de aguas servidas de Calama se tiene lo siguiente:

Sector	Qinfiltración (L/s)	Red AS (m)
SM-01	0,36	8 246
SM-02	0,11	9 216
SM-03	0,04	4 782
SM-04	0,35	1 847
SM-05	0,78	19 214
SM-06	0,41	7 066
SM-07	0,85	14 677
Total (suma)	2,89	65 048
Índice Infiltración (L/100 km)		4,44525 E-05
Total RED AS Calama (Km)		326,49
Total Infiltración (L/s)		14,51

Anexo 04 Riego, Estudio Estimación del Volumen de Agua para Riego de las Áreas

La metodología de cálculo de caudal asociado a riego tanto para jardines residenciales como para áreas verdes no asociadas a inmuebles (uso público y privadas de uso público) se presenta a continuación en este anexo.

Este anexo se dividirá en dos partes, la primera tratará el cálculo de caudal de riego para jardines residenciales y la segunda cubrirá lo referente a áreas verdes de uso público y privadas de uso público.

Caudal de riego para jardines residenciales

El caudal de riego para jardines residenciales se calculó estimando la necesidad biológica de agua de la vegetación presente en la ciudad de Calama.

La necesidad biológica de agua para diversos tipos de vegetación puede estimarse según la ecuación (1), propuesta por la *University Of California*¹, dicha ecuación se denomina *SLIDE Equation*.

$$Demanda\ de\ agua\ (gal/año) = ET_0 \cdot PF \cdot LA \cdot 0,623$$

Donde la demanda de agua se expresa en galones². Las variables involucradas son:

- ET_0 : Evapotranspiración base. Corresponde a la cantidad de agua evaporada por una unidad de vegetación. Su nombre es evapotranspiración base, ya que está referenciada a un tipo de clima y vegetación, por lo que requiere constantes de ajuste para adaptarla a las necesidades del usuario. La evapotranspiración base es medida de forma regular por estaciones meteorológicas. Su unidad de medida en la ecuación (1) es pulgadas/año³
- PF : *plant factor*. Corresponde a un valor constante que varía según el tipo de planta. En el anexo de planilla de cálculo se indica el factor para distintos tipos de planta. Usando Google Street View, se determinó que la vegetación representativa en los jardines de las casas de Calama corresponde a árboles, arbustos, y plantas perennes, lo cual ubica el valor de PF en 0,6.
- LA : *land area*. Corresponde al área cubierta por la vegetación analizada, la cual debe estar en pies⁴ cuadrados.
- 0,623: corresponde a una constante de ajuste para transformar el resultado a galones.


Es de suma importancia recalcar que la ecuación está en unidades estadounidenses. Al ser una ecuación **no homogénea**, no pueden ingresarse variables en sistema internacional inmediatamente. Lo que debe hacerse, es respetar los *inputs* en la unidad que corresponde y el resultado final, transformarlo a la unidad en sistema internacional, que en este caso es el metro cúbico.

¹http://ucanr.edu/sites/UrbanHort/Water_Use_of_Turfgrass_and_Landscape_Plant_Materials/SLIDE___Simplified_Irrigation_Demand_Estimation/

² Galón (gal): medida estadounidense para volumen. 1 gal = 3,785 L.

³ Las estaciones meteorológicas miden cada hora o día, por lo que hay que transformar la unidad a pulgadas/año.

⁴ Pie: unidad de longitud estadounidense. 1 pie = 0,3048 m.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	26
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

Una vez identificado el tipo de planta/vegetación, el siguiente paso es identificar la cantidad de superficie cubierta por ésta. Dicho paso se realizó tomando los 7 sectores de análisis indicados en el anexo 2 y en el plano 1481-EF-B-SEC-AS Layout1.

Cada sector fue trazado con un polígono georeferenciado en el sistema Quantum GIS (QGIS) y calculada su área total. Las áreas de cada polígono se indican en el cuadro siguiente:

Sector	Área (m ²)	Área (há)
D1	300 263	30,03
D2	467 424	46,74
D3	117 758	11,78
D4	72 287	7,23
D5	726 721	72,67
D6	408 128	40,81
D7	764 561	76,46

Para identificar las áreas de jardines y vegetación sujeta a riego residencial, se utilizó Google Earth Pro y Google Street View para registrar cada metro cuadrado de jardín o plantación usando polígonos georeferenciados. Dichos polígonos también fueron ingresados a QGIS para calcular sus áreas. Los resultados de superficie de jardín residencial se muestran en el siguiente cuadro:

Sector	Area (m2)	Area (ha)	Area jardin (m ²)	% Rel
D1	300 263	30,03	4 996,1	1,66%
D2	467 424	46,74	5 976,1	1,28%
D3	117 758	11,78	99,9	0,08%
D4	72 287	7,23	36,2	0,05%
D5	726 721	72,67	8 027,6	1,10%
D6	408 128	40,81	4 218,0	1,03%
D7	764 561	76,46	4 232,4	0,55%

La desviación estándar de los porcentajes relativos equivale a 0,61%.

El paso siguiente fue determinar la evapotranspiración base de la ciudad de Calama. Para ello, se recurrió al sitio <http://agromet.inia.cl/estaciones.php>, donde se muestra el registro histórico de variables meteorológicas para distintas localidades, incluida en ellas, Calama. Se procedió a descargar la serie mensual de ET₀ para los años 2009 a 2014, de los cuales se obtuvo un promedio mensual y se transformó inmediatamente a pulgadas/mes. Al tratarse de la campaña de verano, se sumaron las evapotranspiraciones de los meses de diciembre, enero, febrero y marzo para obtener un valor por campaña.

Evapotranspiración base ET para Calama (pulgadas/mes)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5,013	4,166	3,808	2,719	1,852	1,365	1,515	2,197	3,137	3,923	4,701	5,089

Con todos los datos preparados, se procedió a transformarlos a las unidades de medida requeridas por la ecuación y luego se obtuvo el resultado.

Los resultados calculados se muestran en el cuerpo del informe, en la sección 4.

Caudal de riego para áreas verdes

La metodología para el cálculo de riego en áreas verdes consistió en recuperar los resultados del inventario de la vegetación urbana de la ciudad de Calama ejecutado por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile. Además, se incluyó el aporte del Programa “Árboles para Chile” a la Municipalidad de Calama a través de la Oficina Provincial El Loa de la Corporación Nacional Forestal y los proyectos con aportes privados que significaron incrementar la cobertura de áreas verdes en la ciudad y el inventario de árboles en ella, respecto de la situación representada para el año 2010. El estudio fue encargado al ingeniero forestal Sr. Alfredo López Vega.

El gasto que significa el riego y mantención de la vegetación urbana se estimó a partir de una serie de estudios de necesidades de riego para este tipo de recursos vegetacionales y factores de corrección por las condiciones ambientales propias de la ubicación de la ciudad de Calama. Para la obtención de estos factores se consideraron las variables ambientales altitud, insolación, humedad relativa y la variable agregada evapotranspiración.

La metodología se basó en la revisión de investigaciones aplicadas ejecutadas por instituciones académicas, centros tecnológicos y empresas que buscaron estimar las necesidades de riego de los recursos vegetacionales en zonas ambientalmente similares a la ciudad de Calama y, particularmente, aquellos que pudieren haberse realizado en la propia ciudad.

Además, se solicitó información a la Oficina Provincial El Loa de la Corporación Nacional Forestal acerca de la cantidad de árboles que esta institución proporcionó a la Municipalidad de Calama por la vía del Programa “Árboles para Chile”. También se recopiló información desde medios con acceso público (medios de comunicación, publicaciones análogas y electrónicas de instituciones públicas relacionadas al tema en estudio, publicaciones análogas y electrónicas de empresas privadas y del Estado comprometidas con el cuidado ambiental y la calidad de vida de la ciudad).

Dado que la ciudad de Calama está construida sobre un suelo que presenta una concreción a profundidad variable de entre 60 cm y 1 metro, imposible de romper para el sistema radicular de los árboles es que, también, se estimó que la rotación máxima del arbolado es 20 años. Considerando que esta es una actualización, se estimó que existe una distribución homogénea por clase de edad de los árboles, es decir, existe igual número de árboles para cada clase de edad de 1 año. Lo anterior para posibilitar la

demanda de agua de riego por este tipo de recurso según edad y el reemplazo de los árboles mayores de 20 años.

Considerando que en el estudio “Metodología para la planificación participativa del arbolado urbano para la segunda región de Antofagasta. Diagnóstico de la ciudad de Calama” se menciona y entrega parte de los resultados del “Inventario de la vegetación urbana de la ciudad de Calama, ejecutado en el marco de un convenio de colaboración conjunta entre la División Norte de CODELCO Chile y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile y que el diseño de este inventario fue con base estadística por lo que hubo control del error es que se prefirió cuantificar las áreas verdes y el arbolado de la ciudad de Calama según lo señalado en él. Los resultados de la metodología de las zonas de muestreo y su planteo sobre imágenes de satélite se utilizaron como herramientas de revisión y confirmación.

El gasto de las clases de vegetación se tomó desde estudios académicos y aplicados ejecutados en la Región de Tarapacá, particularmente en el predio El Refresco de la Pampa del Tamarugal; en la ciudad de Antofagasta, otras ciudades de Chile y de América del Sur.

Según el mencionado estudio de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile en la ciudad de Calama existen 327.840 m² cubiertos por áreas verdes, en las que coexisten arbustos, plantas herbáceas y prados; y un total de 10.192 árboles. De éstos, 1.497 árboles son menores de 10 años de edad y 10.695 árboles tienen 10 o más años.

Tipo de Cobertura	Existencia en 2010	
	Unidad	Cantidad
Áreas verdes (SAV)	m ²	327.840
Árboles < 10 años (NAJ)	unidad	1.497
Árboles ≥ 10 años (NAY)	unidad	10.695

Incorporación de áreas verdes y árboles desde 2010

Desde septiembre de 2010 hasta la fecha se han incorporado al inventario de áreas verdes y de árboles de la ciudad de Calama las siguientes obras:

a) Parque Periurbano

Obra finalizada en 2014 que incorpora:

- 3,5 hectáreas de áreas verdes
- 19.000 ejemplares de árboles

b) Parque Granaderos

Obra finalizada en 2014 que de acuerdo a la información aportada por la Municipalidad de Calama cubre una superficie de 1.400 m de largo por 20 m (promedio) de ancho e incluye áreas verdes, áreas de juego, sombreaderos, sendas peatonales y arbolado. Para esta

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	29
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

estimación se consideró que sólo el 25% del total corresponde a áreas verdes que requieren riego y que en ella se distribuyeron 280 árboles (todos menores de 10 años)

Aportes del programa “Árboles para Chile”

De acuerdo con la información proporcionada por la Oficina El Loa de la Corporación Nacional Forestal, el programa “Árboles para Chile”, que ella gestiona en Calama, aportó un total de 1.000 árboles menores de 10 años a la Municipalidad de Calama y organizaciones vecinales de la ciudad y todos ellos fueron plantados en el área urbana.

El detalle de las especies aportadas por ese programa desde el inicio de su implementación en 2012 es:

- Laurel de flor (Nerium oleander) : 400 ejemplares
- Parkinsonia o Espino de Jerusalén (Parkinsonia aculeata) : 400 ejemplares
- Acacia azul (Acacia saligna) : 200 ejemplares
- Total : 1.000 ejemplares

Total de áreas verdes y árboles incorporados desde 2010 en el área urbana de la ciudad de Calama

Tipo de Cobertura	Existencia	
	Unidad	Cantidad
Áreas verdes (SAV)	m ²	369.840
Árboles < 10 años (NAJ)	unidad	21.029
Árboles ≥ 10 años (NAY)	unidad	6.582

Gasto estimado para riego por tipo de cobertura

Áreas verdes:

En las áreas verdes coexisten prados, plantas herbáceas anuales y perennes y arbustos.

Premisas utilizadas	Unidad	Cantidad
Estándar de riego elegido por similitud verdes	litros / m ² *	3,6
Coeficiente de corrección del estándar (SPAV)		1,3

Arbolado:

a. Árboles < de 10 años de edad

Premisas utilizadas	Unidad	Cantidad
Estándar de riego elegido por similitud verdes	litros / árbol * día	3,0
Coeficiente de corrección del estándar (SPAJ)		1,3

b. Árboles ≥ de 10 años de edad

Premisas utilizadas	Unidad	Cantidad
Estándar de riego elegido por similitud verdes (PAY)	litros / árbol * día	8,6
Coeficiente de corrección del estándar (SPAY)		1,3

Finalmente, se ingresan los datos a la ecuación de estimación:

$$F = [(SAV * PAV * SPAV) + (NAJ * PAJ * SPAJ) + (NAY * PAY * SPAY)]$$

Al introducir los parámetros en la ecuación, el gasto de agua potable necesario para el riego y la mantención de las áreas verdes y del arbolado urbano de la ciudad de Calama se estima en 1.886,45 m³/ día.

Anexo 05: Diseño muestral para estudio de coeficiente de recuperación

Introducción

El objetivo de la presente minuta es describir el tratamiento estadístico que aplicó Tratacal en su estudio para estimar el coeficiente de recuperación de la empresa modelo en la ciudad de Calama, de acuerdo a los requerimientos del 3er párrafo del punto III.5.2.3 de las Bases de Estudio Tarifario para el 6º proceso.

Diseño muestral

La metodología para determinar el coeficiente de recuperación que desarrolló la empresa, consiste en establecer sectores dentro de la ciudad en los que puedan medirse las entradas y salidas de agua, y comparar ambos valores para determinar qué porcentaje del agua que entra se descarga al alcantarillado, tal como se hizo en el anterior proceso tarifario.

Para determinar el coeficiente de recuperación es necesario poder medir el agua que va por el alcantarillado y que proviene de un grupo identificable de clientes.

Para que los sectores sean medibles es necesario que correspondan a un área tributaria claramente delimitada con puntos precisos de entrega en la red de colectores.

La empresa contaba con ocho equipos portátiles para registrar datos, por lo tanto, los sectores podrían tener hasta ocho puntos de entrega al alcantarillado, o una combinación de puntos de entrega y de descarga desde otros sectores.

Para identificar zonas medibles, se consideraron en primer lugar los 8 sectores que se utilizaron en el 5º proceso tarifario.

Adicionalmente se solicitó a Aguas Antofagasta que identificara todos los sectores tributarios de aguas servidas que tuvieran sólo un punto de descarga. En total se identificaron 15 sectores en total (incluyendo las 8 zonas del anterior proceso) que cumplieran con la condición de tener un único punto de entrega. Dichos sectores se propusieron al laboratorio encargado de realizar las mediciones, para determinar si cada punto de entrega cumplía con las condiciones de accesibilidad y escurrimiento como para que la medición se pudiera realizar y fuera confiable.

El laboratorio descartó 8 sectores, incluyendo 3 del proceso anterior por las siguientes razones principales:

- Modificaciones del terreno y pavimentaciones que impiden el acceso a cámaras

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama		Rev.	32
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	2	

- Cámaras que se embancan
- Una cámara se descartó por haber quedado en medio de una intersección de alto tránsito
- El crecimiento de la ciudad y las redes hizo que algunos sectores del 5º proceso dejaran de cumplir con la condición de punto único de entrega

Los 7 sectores que cumplen con las condiciones de entrega única, accesibilidad y escurrimiento, aparecen indicados en el plano 1393-AS-A-CALAMA.PDF, adjunto. Las superficies y niveles socioeconómicos por sector son los siguientes:

Nombre en plano final (1481-EF-B-SEC-AS.pdf)	Nombre sector	Superficie (ha)	Condición socio económica
SM-1	Los Yacimientos	34,25	Medio, industrial
SM-2	Los Salares-Lomas Huasi	54,94	Medio alto
SM-3	Tucnar Huasi	17,33	Medio
SM-4	Entre calles Bolivia y Alemania	6,27	medio
SM-5	Peuco	163,19	Medio alto
SM-6	Aconcagua	40,94	medio
SM-7	Blanco	78,95	medio

En definitiva la muestra no se definió en forma aleatoria ni era posible hacerlo, dado que las unidades medibles que forman parte de la población son tan escasas que es posible medirlas todas. Tal como efectivamente se hizo.

No es posible afirmar que la muestra sea representativa en el sentido que corresponda a una selección aleatoria de algunos elementos del total que constituyen la población.

En cambio, si se puede afirmar que es una muestra no discrecional, en el sentido que su elección incluyó todos los casos que eran técnicamente viables.

Sin que la afirmación pueda ser demostrada, se estima probable que la muestra presente un sesgo hacia subestimar el coeficiente de recuperación. La razón es que los sectores que conforman la muestra son todos periféricos, con prevalencia de destino habitacional, que es el que típicamente presenta mayores áreas verdes intradomiciliarias. Además, es en zonas residenciales donde se realizan tareas como lavado de autos.

Más aún, la muestra tiene una alta representación de las viviendas construidas para el traslado de Chuquicamata (SM-2 y SM-5), que corresponden al mayor nivel socioeconómico dentro de la ciudad, con mayor presencia de áreas verdes dentro de las viviendas.

Los 7 sectores en los que se basó el análisis tienen la característica de no corresponder a una elección discrecional, pero tampoco puede afirmarse que sean estadísticamente representativos.

No puede descartarse que presenten sesgos, pero dada su posición periférica, predominantemente residencial y con sobre representación de viviendas de familias de mayores ingresos, se estima que un eventual sesgo, de existir, tendería a subestimar el coeficiente de recuperación.

La conclusión respecto de los resultados que se obtienen del análisis es que el valor esperado que se determinó para la muestra, representaría el rango máximo del valor esperado para la población (eventual sesgo de subestimación del coeficiente de recuperación).

Además se desconoce la varianza y por ende, no se pueden determinar los intervalos de confianza.

	Estudio de Coeficiente de Recuperación de Aguas Servidas de Calama	Rev.	34
	Memoria	1481-IF-2-MEM-02-P	