

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XX CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

EVALUACIÓN CONCEPTUAL DEL USO DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES A NIVEL DOMICILIARIO EN ZONAS URBANAS EN CHILE

**JOSÉ MANUEL ADRIASOLA V.¹
IGNACIO SANTIAGO L.²
RICARDO LABARCA A.³**

RESUMEN

Una creciente preocupación por asegurar la disponibilidad de agua fresca para diferentes usos en la sociedad, ha sido la principal motivación de este trabajo. Comenzando con un breve análisis de la situación regional, se intuye razonablemente que, en promedio, la disponibilidad de agua fresca en Chile podría decrecer en el mediano plazo. Si bien la proporción de agua fresca destinada a producir agua potable es baja en comparación con otros usos, su objetivo es esencial para la subsistencia y salud de la población. Una menor disponibilidad de agua fresca eventualmente podría afectar la producción de agua potable y por lo tanto a la población. Esta situación se acentúa en zonas áridas y en general en zonas donde obtener agua es difícil y/o caro. Una manera de mitigar este problema, es reducir el consumo de agua potable a través del aprovechamiento de las aguas grises generadas por los mismos consumidores en sus viviendas. Este trabajo se centra en el análisis de las ventajas y desventajas de implementar un sistema de recirculación de aguas grises a nivel domiciliario en grandes ciudades de Chile (en particular Santiago), desde una perspectiva económica privada, pero a la vez con algunas conclusiones interesantes que pueden ayudar a orientar soluciones desde un punto de vista social (políticas públicas). Además se propone y se pone a prueba una metodología simplificada para la cuantificación de la producción y consumo de aguas grises a nivel de vivienda específica.

¹Ingeniero Civil Hidráulico, MSc, Bechtel Chile Ltda. – mail: jmadrias@bechtel.com

²Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad de Los Andes, Chile – mail: iosantiago@miuandes.cl

³Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad de Los Andes, Chile – mail: rlabarca@constructoraab.cl

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en ambientes urbanos, cuando se habla de infraestructura sanitaria, predomina ampliamente el paradigma de “distribución y consumo de agua potable – recolección, disposición y tratamiento de aguas residuales” (Alkhatib, 2008). Esto se debe principalmente a legítimas preocupaciones gubernamentales referidas a la salud de la población, las cuales tienen como objetivo maximizar la cobertura de los servicios sanitarios, sinónimo de progreso y desarrollo.

En el contexto de este paradigma, el agua potable es usada para diferentes propósitos: consumo humano, higiene, riego de jardines y descarga de inodoros, entre otros. Algunos de estos propósitos no requieren realmente la calidad química y física del agua potable, sino una menor. Es por esto que la idea de aprovechar las aguas grises que se producen a nivel domiciliario, es atractiva desde la perspectiva del concepto general de eficiencia en el uso de los recursos naturales y de la sustentabilidad.

Las aguas grises son principalmente aguas residuales efluentes de duchas, tinas, lavamanos y lavadero / lavadora. No se consideran como aguas grises los efluentes de inodoros y lavaplatos (denominados aguas negras), por su alta contaminación, comparativamente hablando (Alkhatib, 2008; Franco, 2007; Ghunmi et al., 2008; NSW, 2010).

En países como España, Australia, Japón, Suiza y Estados Unidos, entre otros, el aprovechamiento de aguas grises es relativamente común en zonas áridas (Alkhatib, 2008) y/o en lugares donde las tarifas de agua potable son altas. Estas condiciones son las que mayormente determinan el potencial interés de consumir agua potable de manera eficiente.

Actualmente en Chile, el aprovechamiento de aguas grises es una práctica incipiente, realizada principalmente por personas motivadas por responsabilidades auto-impuestas relacionadas con el desarrollo sustentable, el compromiso con el medio ambiente y/o los beneficios intangibles (imagen) que estas prácticas conllevan. Sobre esto último, la certificación internacional LEED (“*Leadership in Energy and Environmental Design*”) de grandes edificaciones ha ido tomando fuerza en Chile en la última década.

Pero, ¿presenta Chile condiciones que justifiquen implementar estos sistemas? Ciertamente: por ejemplo en algunos sectores costeros de la zona centro del país, y en poblaciones situadas en la costa, valle central y pre-cordillera de la zona norte. Sin embargo, casi siempre se trata de “nichos” con poca población (salvo algunas excepciones), a diferencia de las ciudades que agrupan altos porcentajes de la población de Chile, las que, en términos generales, tienen bien resuelto el problema de suministro de agua potable a los pobladores. Si bien la implementación de estos sistemas se justifica claramente por la necesidad de ser más eficiente en zonas donde el agua fresca o potable es escasa, el interés principal de este trabajo es revisar en qué condiciones existiría un incentivo económico para pobladores de grandes ciudades, para ser más eficientes en condiciones en que la limitación de abastecimiento de agua no es físicamente evidente.

Este artículo se basa principalmente en los trabajos de Santiago (2008) y Labarca (2010), y tiene como fin extender y ayudar a responder las interrogantes del párrafo anterior,

aplicadas a las grandes ciudades de Chile (en particular Santiago, a modo de ejemplo). Es en las grandes ciudades donde se concentra el mayor consumo de agua potable y donde no resulta fácil justificar la implementación de medidas estructurales para mejorar la eficiencia de los consumidores, debido a la diversidad de viviendas, estilos de vida y disposición a pagar que hay. Entonces, ¿presentan las ciudades condiciones que justifiquen implementar en forma masiva estos sistemas? ¿Cuál sería la inversión inicial y el tiempo requerido para recuperarla, considerando el ahorro de agua potable que podría lograrse?

2. DISPONIBILIDAD DE AGUA FRESCA EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE

La Política Nacional de Recursos Hídricos vigente al año 2011 (DGA, 1999), indica que en las regiones I, II, III, V y RM de Chile la disponibilidad de agua fresca es menor que 1000 m³/hab/año. Este valor de disponibilidad de agua fresca es considerado como “altamente restrictivo” para el desarrollo económico de los países (DGA, 1999). Por otra parte, Brown y Saldivia (2000) estiman que este indicador decrecería sostenidamente en el tiempo futuro, pudiendo llegar a valores menores que 500 m³/hab/año en las regiones II, III y RM hacia el año 2025. A fines del año 2011 se espera la publicación de una nueva Política Nacional de Recursos Hídricos, que servirá como referencia actualizada para ratificar o rechazar lo indicado en la política vigente.

La hipótesis recién expuesta toma fuerza con otros estudios más recientes, relativos a los impactos que se esperan del cambio global sobre variables climáticas en Chile.

Boulanger et al. (2007) observó que las precipitaciones promedio anual entre los paralelos 30°S y 50°S muestran una tendencia negativa (decrecimiento) desde el año 1950, la cual, según diferentes modelos climatológicos y bajo diferentes escenarios, continuaría y se acentuaría hacia fines del siglo XXI. Así mismo, de acuerdo con lo expresado en los trabajos de CONAMA (2006) y Bórquez (2007), el pronóstico de disminución de precipitaciones anuales en la zona central y sur de Chile se refiere a una pérdida de hasta 40%, también hacia fines del siglo XXI.

Respecto a las temperaturas, se espera un aumento de la elevación de la isoterma 0°C, con la consiguiente disminución de las reservas de nieve y hielo hacia fines del siglo XXI (CONAMA, 2006; Bórquez, 2007). Se espera que las temperaturas en superficie aumenten producto del cambio global. Modelos climatológicos bajo diferentes escenarios, prevén que hacia fines del siglo XXI las temperaturas medias anuales podrían aumentar entre 2°C y 4°C respecto a los valores actuales, acentuándose hacia las regiones andinas (especialmente durante el verano) y disminuyendo de norte a sur (CONAMA, 2006).

Si bien lo indicado en estos estudios son pronósticos basados en modelos climáticos globales y los números deben ser tomados como órdenes de magnitud, sí puede rescatarse que hay un consenso generalizado sobre los impactos que el cambio global puede producir en Chile. Diferentes modelos concuerdan conceptualmente con lo expresado en los párrafos anteriores (IPCC, 2007).

Por lo tanto, a la luz de los argumentos ofrecidos, entre otros, es posible concluir razonablemente que la disponibilidad de agua fresca en Chile irá disminuyendo en el tiempo, afectando a zonas donde se sitúan grandes ciudades, como por ejemplo Santiago.

3. GENERALIDADES SOBRE LAS AGUAS GRISES Y SU TRATAMIENTO

Como se dijo anteriormente, las aguas grises son principalmente las aguas residuales efluentes de las duchas, tinas, lavamanos y lavadero / lavadora. Se puede distinguir entre aguas grises crudas (sin tratamiento) y aguas grises tratadas.

La calidad de aguas grises crudas es variable y depende del estilo de vida de las personas, sus costumbres, si hay o no hay niños en la vivienda y el tipo de detergentes que se usan, entre otros factores (Alkhatib, 2008). La Tabla 1 (Alkhatib, 2008) muestra cualitativamente las características de las aguas grises de acuerdo a su fuente. Para una caracterización detallada de la calidad física, química y bacteriológica, pueden consultarse los trabajos de Alkhatib (2008), Franco (2007), Ghunmi et al. (2008) y WERF (2006), entre otros. En particular, el trabajo de WERF (2006) puede accederse vía internet con el link indicado.

Tabla 1: Características generales de las aguas grises crudas de acuerdo a su fuente.

FUENTE	CARACTERÍSTICAS
Lavadora automática de ropa	Blanqueador, espuma, pH alto, agua tibia, nitratos, grasas y aceites, demanda de oxígeno, fosfatos, salinidad, jabón, sodio, sólidos suspendidos y turbiedad.
Tina y ducha	Bacterias, pelos, agua tibia, olor, grasas y aceites, demanda de oxígeno, jabón, sólidos suspendidos y turbiedad.
Lavamanos	Bacterias (sustancialmente menos que tina y ducha), pH alto, pelos, agua tibia, olor, grasas y aceites, demanda de oxígeno, fosfatos, jabón, sólidos suspendidos y turbiedad.
Lavadora de vajilla*	Bacterias, espuma, <u>partículas de alimentos</u> , pH alto, agua tibia, olor, grasas y aceites, <u>materia orgánica</u> , demanda de oxígeno, salinidad, jabón, sólidos suspendidos y turbiedad.
Lavaplatos cocina*	Bacterias, <u>partículas de alimentos</u> , agua tibia, olor, grasas y aceites, <u>materia orgánica</u> , demanda de oxígeno, jabón, sólidos suspendidos y turbiedad.

* Aunque no se recomienda como agua gris reutilizable, se incluye para comparación. Se observa que la presencia de partículas de alimentos y materia orgánica es lo que marca la diferencia con otras fuentes.

Hay variados tipos de esquemas para lograr la recuperación y reutilización de aguas grises, y diferentes tecnologías de tratamiento, de acuerdo a la calidad de agua que se quiere lograr. Varios ejemplos específicos de esquemas de tratamiento pueden encontrarse en los trabajos de Santiago (2008), Alkhatib (2008), NSW (2008), NSW (2010) y Franco (2007), entre otros.

Las aguas grises crudas contienen una cantidad relativamente alta de coliformes totales y fecales, que podría poner en riesgo la salud de los usuarios. A modo de referencia, en el trabajo de Alkhatib (2008) se menciona el caso particular de una residencia de estudiantes

en Estados Unidos que generó aguas grises crudas con un conteo promedio de coliformes totales del orden de 7×10^5 - 6×10^6 c/100 ml, y en el caso de coliformes fecales un conteo promedio del orden de 600 - 730 c/100 ml. Por eso, con el objetivo de no reducir el estándar de salud que se logra en ambientes urbanos usando agua potable, es necesario tratar las aguas grises antes de su uso, incluyendo desinfección.

Un sistema de tratamiento adecuado debe tener al menos 3 componentes: almacenamiento, filtración y desinfección. El almacenamiento tiene un impacto positivo en la calidad, pero podría producir malos olores (Alkhatib, 2008). Para aguas grises crudas, se recomienda un tiempo máximo de almacenamiento de 24 horas; para aguas grises tratadas, hasta 72 horas (Alkhatib, 2008). El almacenamiento es necesario para provocar sedimentación por gravedad, reducir la turbidez del agua y no sobrecargar la acción del filtro, que retiene elementos y partículas que no sedimentan. Se recomienda que la desinfección se haga mediante el uso de rayos ultravioleta (UV) (Alkhatib, 2008).

En una vivienda, la calidad de las aguas grises después del tratamiento debe apuntar a salvaguardar la salud de los usuarios, como se dijo anteriormente. Según Alkhatib (2008), algunos estudios han demostrado que cuando este objetivo no se logra, en la mayoría de los casos se debe a la falta de mantenimiento adecuado. La Tabla 2 (NWS, 2010) indica algunas guías generales para el mantenimiento y operación exitosa de un sistema de tratamiento de aguas grises.

Tabla 2: Recomendaciones de mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas grises.

COMPONENTE	MANTENIMIENTO	FRECUENCIA
Filtro	Limpieza de filtro	Semanalmente
Filtro	Reemplazo de filtro	Cada 6 - 12 meses
Estanque acumulación	Limpieza de lodo acumulado	Cada 6 meses
Sistema de riego	Revisar si distribución es adecuada	Semanalmente
Sensores / Filtro UV	Limpiar y verificar funcionamiento	Semanalmente

Desde una perspectiva general, debe mencionarse que el uso masivo de sistemas de aprovechamiento de aguas grises podría provocar una reducción en la magnitud de los flujos mínimos de aguas residuales. En sistemas de alcantarillado existentes, esto podría significar una menor capacidad de autolavado y el posible incumplimiento de la Norma Chilena 1105 Of. 1999. Este es un aspecto importante que no se evalúa en este trabajo, pero que debería estudiarse.

4. APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES A NIVEL DOMICILIARIO

Centrándose en los aspectos meramente económicos del problema, ante la posibilidad de instalar un sistema domiciliario de aprovechamiento de aguas grises, las personas se preguntan fundamentalmente cuáles serían los beneficios netos. Desde un punto de vista práctico y privado, esto se reduce a dos preguntas fundamentales: 1) cuánto es la inversión, y 2) en cuánto tiempo se recupera la inversión. Esto suponiendo que no existen obligaciones de implementar el sistema.

Pero aquí el problema se amplía bastante, ya que dependiendo de las características de cada vivienda y de sus habitantes, los resultados serán diferentes y, además, se percibirán de manera diferente. El trabajo preparado por Santiago (2008), aborda esta situación en forma general planteando 3 tipos de vivienda en la ciudad de Santiago, con el fin de representar 3 grupos socioeconómicos potencialmente interesados en aprovechar sus aguas grises.

Cabe indicar que a priori se descartó la evaluación de niveles socioeconómicos bajos, ya que las viviendas en estos casos no presentan mucho potencial para el uso de aguas grises. Además la organización más común de estas viviendas son edificios de departamentos y condominios, lugares donde sería más eficiente pensar en sistemas de aprovechamiento de aguas grises a mayor escala (colectivos). Esto último está fuera del alcance de este trabajo. Adicionalmente, estos casos necesitarían financiamiento con subvención del Estado, tema que se menciona brevemente en el Capítulo 6 de este trabajo.

Los 3 tipos de vivienda definidos por Santiago (2008) son:

- Vivienda V1: tiene una superficie construida mayor o igual a 250 m² y una superficie de jardines entre 500 y 800 m². Su dotación de consumo de agua potable (DCAP) es alta y se ubica en comunas con tarifas de agua potable también altas.
- Vivienda V2: tiene una superficie construida entre 120 y 200 m², y una superficie de jardines entre 100 y 450 m². Su DCAP es alta y se ubica en comunas con tarifas de agua potable también altas.
- Vivienda V3: tiene una superficie construida del orden de 100 m² y una superficie de jardines entre 50 y 150 m². Su DCAP es media-alta y se ubica en comunas con tarifas de agua potable altas.

Santiago (2008) realizó una evaluación económica general de la implementación y uso de un sistema de aprovechamiento de aguas grises, considerando los siguientes aspectos:

- Número de habitantes: cada tipo de vivienda (V1, V2 y V3) se evalúa considerando 4 habitantes (Caso 1) y 8 habitantes (Caso 2).
- Costo de inversión: \$950.000 (Caso 1) y \$1.250.000 (Caso 2). De acuerdo a Alkhatib (2008), inversiones de este orden de magnitud corresponden a sistemas de aprovechamiento con todas las potenciales fuentes conectadas, con un sistema de tratamiento y recirculación de baja tecnología (no automatizado).
- Costo de operación anual (bomba recirculación): \$25.000 (Caso 1) y \$50.000 (Caso 2).
- Costo de mantenimiento anual: \$60.000 (Casos 1 y 2)

- DCAP según valores representativos en Santiago de Chile para el tipo de viviendas en consideración (SISS, 2006):
 - Para V1, DCAP = 900 l/hab/día (Aguas Los Domínicos).
 - Para V2, DCAP = 900 l/hab/día (Aguas Manquehue).
 - Para V3, DCAP = 500 l/hab/día (Aguas Cordillera).
- Tarifas de agua potable según valores representativos en Santiago de Chile (ver Santiago (2008) para mayores detalles):
 - Para V1, tarifa verano = \$820/m³, tarifa invierno = \$605/m³.
 - Para V2, tarifa verano = \$1.070/m³, tarifa invierno = \$760/m³.
 - Para V3, tarifa verano = \$780/m³, tarifa invierno = \$570/m³.
- Dotación de producción de aguas grises (DPAG) con diferentes límites para invierno y verano. Estos valores se encuentran dentro del orden de magnitud y son realistas, de acuerdo a lo informado por Alkhatib (2008), NSW (2008), Ghunmi et al. (2008) y Franco (2007), entre otros. Los valores máximos son:
 - Para V1, DPAG (verano) = 350 l/hab/día, DPAG (invierno) = 250 l/hab/día.
 - Para V2, DPAG (verano) = 270 l/hab/día, DPAG (invierno) = 210 l/hab/día.
 - Para V3, DPAG (verano) = 200 l/hab/día, DPAG (invierno) = 170 l/hab/día.
- Descarga de inodoro: 5 descargas/hab/día, con un gasto de 8 l/descarga.
- Consumo de agua para riego:
 - En verano, 10 l/m²/día, todos los días.
 - En invierno, 10 l/m²/día, 3 días por semana.
- Tamaño de jardín:
 - Para V1-Caso 1 = 500 m² ; para V1-Caso 2 = 800 m²
 - Para V2-Caso 1 = 100 m² ; para V2-Caso 2 = 450 m²
 - Para V3-Caso 1 = 50 m² ; para V3-Caso 2 = 150 m²
- 3 escenarios de evaluación económica: optimista, normal y pesimista. Ver Tabla 3.
- Otros supuestos y su explicación detallada pueden encontrarse en Santiago (2008).

Tabla 3: Escenarios de evaluación económica.

VARIABLE	Escenario Optimista	Escenario Normal	Escenario Pesimista
Costo de inversión	-10%	0%	+10%
Costo O&M	-10%	0%	+10%
DPAG	+10%	0%	-10%
DCAG*	+10%	0%	-10%
Tarifa agua potable	+10%	0%	-10%

* Dotación de consumo de aguas grises.

Los costos que se han considerado corresponden a viviendas nuevas. La readecuación de viviendas existentes podría tener costos mayores dependiendo del caso. El modelo de Labarca (2010) presentado en el capítulo 5 de este artículo tiene la flexibilidad suficiente para incorporar los costos de inversión que corresponda en cada caso.

Hay que notar que el costo de mantenimiento podría ser mayor que lo considerado por Santiago (2008), de acuerdo a experiencias revisadas y mencionadas por Alkhatib (2008). No obstante, el costo de inversión podría ser bastante menor que lo indicado, de acuerdo a

lo referido por Roesner (2010). Por lo tanto, desde un punto de vista de evaluación preliminar, es razonable considerar que estos efectos se cancelan.

Santiago (2008) realizó 36 evaluaciones combinando lo aspectos anteriormente indicados. Además hizo un análisis de sensibilidad de cada variable en forma independiente. Los resultados en cada caso son bastante diversos y pueden consultarse en el trabajo de Santiago (2008), sin embargo se puede indicar que desde una perspectiva privada:

- Para viviendas V1 y V2 con 8 habitantes, resultaría atractiva la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises. El período de recuperación de la inversión sería del orden de 5 años.
- Para viviendas V3 con 8 habitantes, no resultaría atractiva la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises. El período de recuperación de la inversión sería del orden de 10 años.
- Para viviendas V1 y V2 con 4 habitantes, resultaría poco atractiva la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises. El período de recuperación de la inversión sería del orden de 7 años.
- Para viviendas V3 con 4 habitantes, no resultaría atractiva la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises. El período de recuperación de la inversión sería del orden de 15 años.

En relación al período de recuperación de la inversión, se observa una importante diferencia con un estudio similar realizado en Inglaterra y mencionado por Alkhatib (2008). En este estudio, para viviendas con 5 habitantes se espera en promedio un período de recuperación de la inversión de 18 a 20 años, lo cual no es atractivo. Sin embargo, es preciso indicar que las condiciones particulares de cada caso pueden ser muy diferentes, y por lo tanto esto puede significar que la cultura y las condiciones presentes en las ciudades chilenas son más adecuadas para el aprovechamiento de las aguas grises, en relación a otros países.

Un problema típico, que no se ha abordado hasta ahora y que es valioso mencionar, es la forma en que las aguas grises tratadas pueden afectar el suelo y las plantas cuando se usa para riego. Se ha demostrado que el riego con aguas grises aumenta la salinidad de los suelos y puede colmatarlos (Alkhatib, 2008; NSW, 2010; WERF, 2006). El sodio (Na), el boro (B) y la razón de adsorción de sodio (RAS) son típicos parámetros que se ven incrementados. A este respecto, algunas recomendaciones (Alkhatib, 2008; NSW, 2010; WERF, 2006; entre otros) apuntan a seleccionar plantas más resistentes a ambientes con salinidad elevada, otras a usar jabones y detergentes líquidos, y otras a regar intercaladamente con aguas grises y agua potable, junto con mantener el suelo para controlar el proceso de colmatación. Estos aspectos no han sido considerados explícitamente en la evaluación económica y podrían hacer aumentar los costos de mantenimiento.

5. ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE AGUAS GRISES

Los supuestos considerados por Santiago (2008) son útiles para una evaluación general. Sin embargo, Labarca (2010) desarrolló un modelo detallado en Visual Basic ® para estimar en forma precisa la dotación de producción de aguas grises (DPAG) y la dotación de consumo de aguas grises (DCAG) en una vivienda o esquema habitacional cualquiera. El valor de esta forma de abordar el problema, es que sigue lo observado por Loh y Coghlan (2003), es decir, que aún cuando existan dos familias iguales en cuanto a tipo de vivienda, número de personas, edad y sexo, las demandas de agua potable serán diferentes.

El modelo de producción y consumo de aguas grises (PCAG) de Labarca (2010), principalmente busca eliminar supuestos generales y estimar con precisión los beneficios de implementar un sistema de aprovechamiento de aguas grises, es decir, el ahorro en el consumo de agua potable. La principal característica que presenta es su adaptabilidad, ya que se basa en variables desagregadas comunes a cualquier esquema habitacional.

Para la estimación de la DPAG, el modelo PCAG considera las siguientes variables (fuentes): ducha, tina y aseo personal. Cada una de ellas considera número de habitantes y sub-variables que buscan reflejar las costumbres propias de cada esquema habitacional, incluyendo estacionalidad (verano/invierno).

Para la estimación de la DCAG, el modelo PCAG considera las siguientes variables (usos): inodoros, riego y “otros”. Estas variables consideran, según aplique en cada caso, el número de habitantes y sub-variables características de cada esquema habitacional, incluyendo estacionalidad (verano/invierno).

Además, en términos generales el modelo:

- No considera como fuente de aguas grises el lavado de ropa (manual o automático) debido a la costumbre de usar detergentes en polvo en Chile. Como se dijo anteriormente, este hecho tiene efectos negativos en el suelo y en algunas plantas cuando las aguas grises se usan para riego. Sin embargo, podría agregarse si un caso particular lo requiriese.
- Calcula un balance de agua con resolución mensual.
- Considera que tanto la DCAG como la DPAG pueden ser el factor limitante en la estimación de los beneficios por ahorro en el consumo de agua potable.
- Incorpora una sub-rutina para realizar una evaluación económica y análisis de sensibilidad en cada caso.
- Incorpora una sub-rutina para estimar la evolución de los consumos y tarifas de agua potable, sobre la base de los consumos y tarifas mensuales del último año, en cada caso.

Un diagrama básico de operación del modelo PCAG se presenta en la Figura 1.

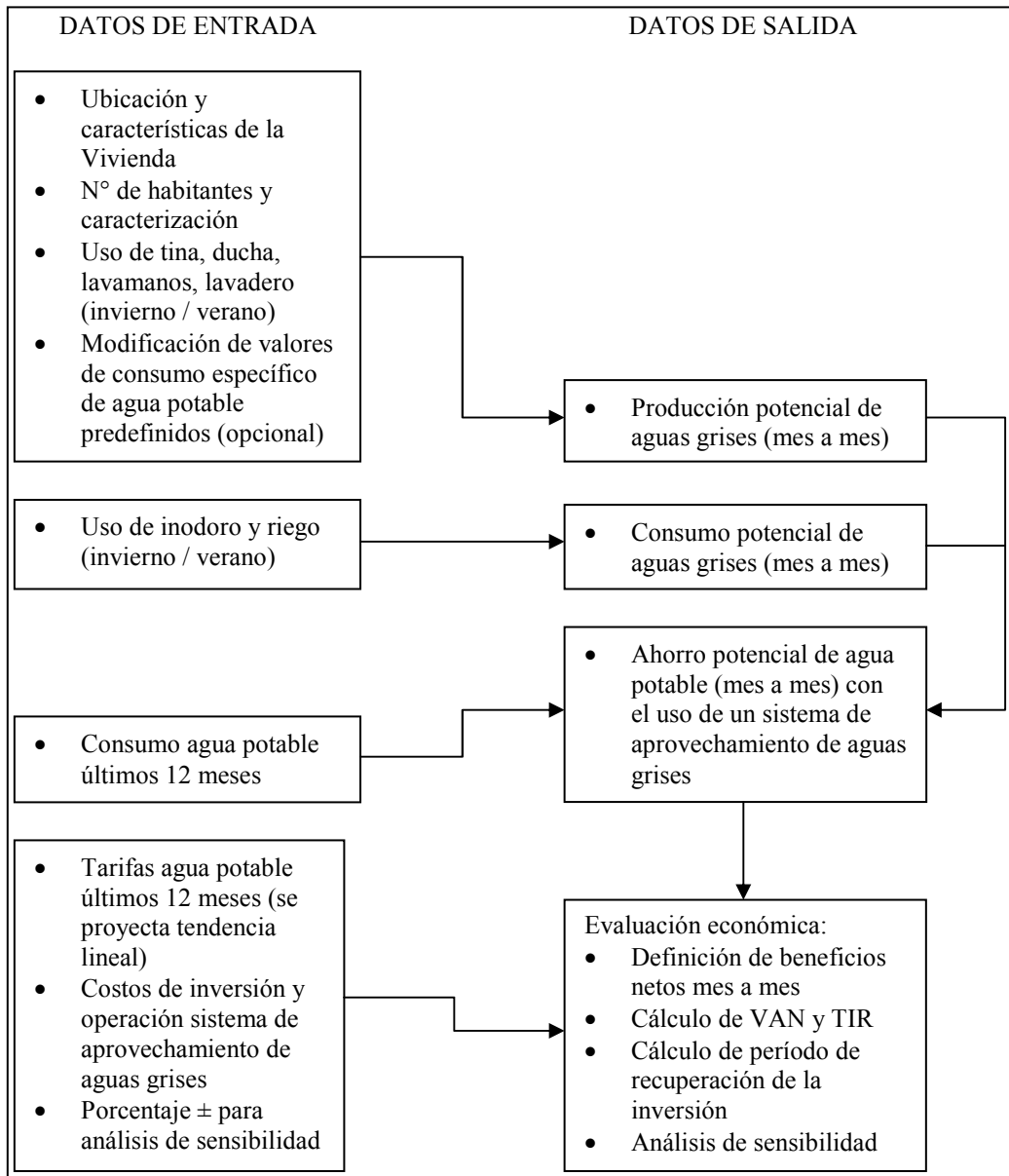


Figura 1: Diagrama básico de operación del modelo PCAG.

El modelo PCAG fue aplicado a 2 casos reales: vivienda A y vivienda B. La vivienda A es una casa que se ubica en Santiago, comuna de Vitacura, y tiene las características indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4: Cuestionario por núcleo familiar modelo PCAG - vivienda A

General		Valor	Unidad	N° Variable
¿Número de personas que habitan en su casa?		6	[personas]	var1
Ducha y Tina				
Durante los meses de verano	¿Cuántos minutos demora en promedio cada ducha en su hogar?	7	[min]	var3
	¿Cuántas veces se ducha cada persona en cada día?	1,5	[veces/día]	var4
	¿Cuántas veces a la semana alguien se da un baño de tina?	0	[veces/semana]	var5
Durante los meses de invierno	¿Cuántos minutos demora en promedio cada ducha en su hogar?	10	[min]	var6
	¿Cuántas veces se ducha cada persona en cada día?	1,2	[veces/día]	var7
	¿Cuántas veces a la semana alguien se da un baño de tina?	0	[veces/semana]	var8
Aseo Personal				
¿Cuántas veces al día se lavan los dientes cada habitante de su hogar?		2	[veces/día]	var9
¿Cuántas veces al día se lavan las manos cada habitante de su hogar?		4	[veces/día]	var10
¿Cuántas veces al día se lavan la cara cada habitante de su hogar?		0,1	[veces/día]	var11
¿Del total de personas que habitan su hogar, cuántas veces al día alguien se afeita?		1,2	[veces/día]	var12
¿Del total de personas que habitan su hogar, cuántas veces al día alguien realiza otro uso personal?		2	[veces/día]	var13
WC				
¿En su hogar, cuál es el volumen de descarga de los WC?		10	[lt]	var14
¿En su hogar, cuál es el valor promedio de veces al día que usa cada persona el WC?		2	[veces/día]	var15
Riego				
¿En su hogar, tiene algún jardín o jardinera la cual deba regar?		1	----	var16
¿Para el riego de su jardín, usa algún sistema de riego automático?		1	----	var17
Riego Automático	¿Cuál es el caudal del sistema de riego automático?	35	[litros/minuto]	var18
	¿Durante los meses de verano, cuántas horas a la semana enciende el riego automático?	2,4	[horas/semana]	var19
	¿Durante los meses de invierno, cuántas horas a la semana enciende el riego automático?	1,2	[horas/semana]	var20
Otro Sistema de Riego	¿Cuántos metros cuadrados deben ser regados en su hogar?		[m²]	var21
	¿Durante los meses de verano, cuántas veces a la semana riega el sector en cuestión?		[veces/semana]	var22
	¿Durante los meses de invierno, cuántas veces a la semana riega el sector en cuestión?		[veces/semana]	var23

Para la vivienda A, usando parámetros de evaluación similares a los indicados en el capítulo 4, se determinó que hay un ahorro potencial de agua potable del orden de 20% en los meses de verano y entre 32 y 40% en el resto de los meses del año. El período de recuperación de la inversión resulta ser del orden de 7 años, lo cual resulta relativamente atractivo desde un punto de vista privado.

La vivienda B es un departamento que se ubica en Santiago, comuna de La Reina, y tiene las características indicadas en la Tabla 5.

Para la vivienda B, usando parámetros de evaluación similares a los indicados en el capítulo 4, se determinó que hay un ahorro potencial de agua potable del orden de 20% (promedio anual). En este caso la limitación está dada principalmente por la DCAG, porque no hay jardines que demanden riego. El período de recuperación de la inversión resulta ser mayor a 20 años, lo cual es muy poco atractivo desde un punto de vista privado.

Los datos obtenidos en los casos anteriormente descritos son coherentes con lo informado en la literatura (Alkhatib, 2008; Ghunmi et al. (2008); NSW (2008); entre otros), lo cual indica que existe cierta consistencia de costumbres en zonas urbanas de diferentes países.

Tabla 5: Cuestionario por núcleo familiar modelo PCAG - vivienda B

General		Valor	Unidad	N° Variable
¿Número de personas que habitan en su casa?		5	[personas]	var1
Ducha y Tina				
Durante los meses de verano	¿Cuántos minutos demora en promedio cada ducha en su hogar?	7	[min]	var3
	¿Cuántas veces se ducha cada persona en cada día?	1,2	[veces/día]	var4
	¿Cuántas veces a la semana alguien se da un baño de tina?	0	[veces/semana]	var5
Durante los meses de invierno	¿Cuántos minutos demora en promedio cada ducha en su hogar?	8	[min]	var6
	¿Cuántas veces se ducha cada persona en cada día?	1	[veces/día]	var7
	¿Cuántas veces a la semana alguien se da un baño de tina?	0	[veces/semana]	var8
Aseo Personal				
¿Cuántas veces al día se lavan los dientes cada habitante de su hogar?		2	[veces/día]	var9
¿Cuántas veces al día se lavan las manos cada habitante de su hogar?		3	[veces/día]	var10
¿Cuántas veces al día se lavan la cara cada habitante de su hogar?		0,1	[veces/día]	var11
¿Del total de personas que habitan su hogar, cuántas veces al día alguien se afeita?		1,2	[veces/día]	var12
¿Del total de personas que habitan su hogar, cuántas veces al día alguien realiza otro uso personal?		4	[veces/día]	var13
WC				
¿En su hogar, cuál es el volumen de descarga de los WC?		12	[lt]	var14
¿En su hogar, cuál es el valor promedio de veces al día que usa cada persona el WC?		3	[veces/día]	var15
Riego				
¿En su hogar, tiene algún jardín o jardinera la cual deba regar?		1	----	var16
¿Para el riego de su jardín, usa algún sistema de riego automático?		0	----	var17
Riego Automático	¿Cuál es el caudal del sistema de riego automático?		[litros/minuto]	var18
	¿Durante los meses de verano, cuántas horas a la semana enciende el riego automático?		[horas/semana]	var19
	¿Durante los meses de invierno, cuántas horas a la semana enciende el riego automático?		[horas/semana]	var20
Otro Sistema de Riego	¿Cuántos metros cuadrados deben ser regados en su hogar?	6	[m²]	var21
	¿Durante los meses de verano, cuántas veces a la semana riega el sector en cuestión?	4	[veces/semana]	var22
	¿Durante los meses de invierno, cuántas veces a la semana riega el sector en cuestión?	1	[veces/semana]	var23

El modelo PCAG presentado puede ser útil para estudiar “nichos” particulares, como por ejemplo poblados y ciudades costeras (Antofagasta, entre otras, que siempre ha tenido problemas de abastecimiento de agua potable), y campamentos masivos de construcción o de operaciones industriales.

6. CONCLUSIONES

Dadas las proyecciones de disminución de disponibilidad de agua fresca en Chile hacia fines del siglo XXI, se presenta el uso de sistemas de aprovechamiento de aguas grises a nivel domiciliario como una alternativa de mitigación ante posibles situaciones de escasez.

Las evaluaciones económicas realizadas - tanto a nivel general como particular - indican que, en la situación actual de Chile, bajo un escenario en que el usuario asume totalmente los costos, la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises quedaría relegada a “nichos” específicos y su implementación masiva no sería atractiva. Será interesante comprobar si esta conclusión cambiará con el paso del tiempo, considerando el pronóstico de disminución de la disponibilidad de agua fresca en Chile.

VARIABLES como el número de habitantes en una vivienda, la demanda de riego, el costo de implementación del sistema de aprovechamiento de aguas grises y las tarifas de agua potable, son claves para determinar el potencial atractivo de implementar estos sistemas.

El modelo PCAG propuesto, estima valores de producción de aguas grises similares a los informados en la literatura. Este modelo puede aplicarse a cualquier esquema habitacional, es decir, no sólo a viviendas unifamiliares, sino también a escalas mayores. Esto puede ser una herramienta útil para determinar preliminarmente la magnitud de subsidios, los cuales

seguramente serían requeridos en caso de implementarse políticas públicas que incentiven el uso de sistemas de aprovechamiento de aguas grises.

Si bien lo que se indica a continuación no es una conclusión de este trabajo, es importante notar que no existe normativa vigente en Chile sobre esta materia. La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) no tiene competencia sobre las instalaciones intra-domiciliarias. Sin embargo, correspondería al Ministerio de Salud pronunciarse sobre el asunto. Normativas existentes como la de NSW (2010) podrían ser un punto de inicio para avanzar en Chile.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen sinceramente a Miguel Luis Lagos y a Constructora L y D S.A. por su desinteresada colaboración en el desarrollo de este trabajo. También agradecen a los ingenieros Alejandro Pérez M. y Jorge Gironás L. por sus opiniones y contribuciones.

REFERENCIAS

Alkhatib, R.Y. 2008. Investigating the Efficacy of Graywater Use at the Household Level. Tesis de doctorado. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.

Bórquez, R. 2007. Análisis del Escenario Actual de los Glaciares de Montaña en Chile desde la mirada de la Seguridad Ecológica. Memoria de título. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Boulanger, J., F. Martínez y C. Segura. 2007. Projection of Future Climate Change Conditions using IPCC Simulations, Neural Networks and Bayesian Statistics. Part 2: Precipitation Mean State and Seasonal Cycle in South America. *Journal of Climate Dynamics*, 28(2-3), 255-271.

Brown, E. y J. E. Saldivia. 2000. Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Chile. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Naciones Unidas, Santiago de Chile.

CONAMA. 2006. Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI. Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). Preparado por el Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

DGA. 1999. Política Nacional de Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas, Chile.

Franco, M. V. 2007. Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises con Aplicación a Caso en Chile. Memoria de título. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Ghunmi, A., G. Zeeman, J. van Lier y M. Fayyed. 2008. Quantitative and Qualitative Characteristics of Grey Water for Reuse Requirements and Treatment Alternatives: the case of Jordan. *Journal of Water Science & Technology*, 58(7), 1385-1396.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Plenary XXVII, Valencia, España.

Labarca, R. 2010. Modelo para la Estimación de Producción y Consumo de Aguas Grises a Nivel de Vivienda y su Relación con la Factibilidad de Instalación de Sistemas de Tratamiento Domiciliario. Memoria de título. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de Los Andes, Santiago, Chile.

Loh, M. y P. Coghlan. 2003. *Domestic Water Use Study in Perth, Western Australia 1998-2001*. Water Corporation, Western Australia, Australia.

NSW Department of Water & Energy. 2008. *NSW Guidelines for Greywater Reuse in Sewered, Single Household Residential Premises*. New South Wales (NSW) Government, Department of Energy, Utilities and Sustainability, Sydney, Australia.

NSW Office of Water. 2010. Greywater. <<http://www.water.nsw.gov.au/Urban-water/Recycling-water/Greywater/Greywater/default.aspx>> (29 de Julio 2011). New South Wales (NSW) Government, Office of Water. New South Wales, Australia.

Roesner, L. A. 2010. Steps Toward an Integrated Urban Water System. Presentación realizada en el contexto de la XI Jornadas de Hidráulica Francisco Javier Domínguez, P. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Santiago, I. 2008. Estudio de Pre-factibilidad de Implementación de un Sistema Domiciliario de Recirculación de Aguas Grises en Santiago de Chile. Memoria de título. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de Los Andes, Santiago, Chile.

SISS. 2006. Informe de Gestión del Sector Sanitario. <<http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-3687.html>> (5 de Octubre 2011). Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Gobierno de Chile.

WERF. 2006. Long-term Effects of Landscape Irrigation using Household Graywater – Literature review and synthesis. <http://www.uga.edu/coastalnemo/Documents/Literature/SDA_WERF_Graywater_2006.pdf> (3 de Octubre 2011). Final Report. Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria, Virginia, USA.