

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Evaluación de recirculación de agua gris a nivel domiciliario
para abastecimiento de descarga de inodoros en una
construcción a escala real, ubicada en la
ciudad de Juliaca - 2017**

Autor:

Elida Luciana Rivadavía Huamaní

Asesor:

Mg. Leonel Chahuares Paucar

Juliaca, mayo de 2018

Área Temática: Gestión Integral de Recursos Hídricos y Medio Ambiente

Ficha bibliográfica elaborada por el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la UPeU

Rivadavía Huamaní, Elida Luciana

"Evaluación de recirculación de agua gris a nivel domiciliario para abastecimiento de descarga de inodoros en una construcción a escala real, ubicado en la ciudad de Juliaca - 2017"/ Autor: Elida Luciana Rivadavía Huamaní; Asesor: Mg. Leonel Chahuares Paucar - Juliaca, 2017.

103 páginas: anexos, figuras, tablas.

Tesis (Licenciatura) -- Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. EP. de Ingeniería Civil, 2017.

Incluye referencias y resumen.

Campo del conocimiento: Ingeniería Civil.

1. Aguas grises. 2. Recirculación. 3. Construcción piloto. 4. Consumo de inodoro.

<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1150>

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Evaluación de recirculación de agua gris a nivel domiciliario para abastecimiento de descarga de inodoros en una construcción a escala real, ubicada en la ciudad de Juliaca-2017”**, constituye la memoria que presenta la **Bachiller Elida Natividad Ccolque Huamaní** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en la Ciudad de Juliaca, a los diez (10) días del mes de abril del año dos mil dieciocho.



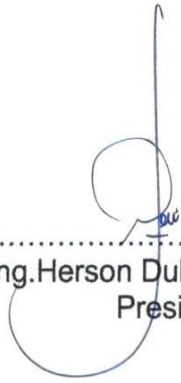
Asesor
Mg. Leonel Chahuares Paucar

**Evaluación de recirculación de agua gris a nivel domiciliario
para abastecimiento de descarga de inodoros en una
construcción a escala real, ubicada en la
ciudad de Juliaca – 2017**

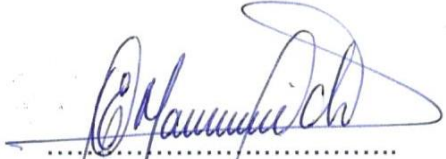
TESIS

Presentado para optar el grado de título profesional de Ingeniero Civil

JURADO CALIFICADOR




.....
Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Presidente




.....
Ing. Ecler Mamani Chambi
Secretario



.....
Ing. Rubén Fitzgerald Sosa Aquisé
Vocal



.....
Ing. Percy Armando Cota Mayorga
Vocal



.....
Mg. Leonel Chahuares Paucar
Asesor

Juliaca, 11 de mayo de 2018

DEDICATORIA

A Hugo Sandro Luque quien dio la iniciativa el tema de investigación, a Victoria mi hermana quien como madre con sus felicitaciones me alentó, y a Uriel mi hermano por su apoyo significativo en el desarrollo de la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

A Divino Dios, Creador y Hacedor, por su amor y misericordia, me guio durante el proceso de este estudio.

Al propietario de la vivienda que permitió instalar el sistema de recirculación

A Mg. Sandro Luque, por su persistencia para la elaboración de la tesis, y todas las acciones relacionados.

A Mg. Leonel Chahuares, por su orientación, revisión y apoyo.

A Uriel Colque, mi hermano quien con su trabajo físico, tiempo, dedicación y esfuerzo me apoyo en la construcción para hacer posible este trabajo.

ÍNDICE

TABLAS	ix
FIGURAS	x
ANEXOS	x
SÍMBOLOS USADOS	xi
CAPÍTULO I	14
Planteamiento del problema	14
1. Problemática del estudio	14
2. Formulación del problema	16
2.1 Problema General	16
2.2 Problema Derivado	16
3. Antecedentes de investigación	16
4. Objetivos de investigación	23
4.1. Objetivo general	23
4.2. Objetivos operacionales	23
5. Justificación	23
CAPÍTULO II	26
Fundamento teórico de la investigación	26
1. Marco teórico	26
1.1 Recirculación de agua gris a nivel domiciliario	26
1.1.1 <i>Uso eficiente del agua potable distribuida a nivel domicilio</i>	29
1.1.2 <i>Diseño de instalación de forma separada para captar y aprovechar aguas grises</i>	32
1.1.3 <i>Volumen de cuantificación de agua gris</i>	35
1.2 Abastecimiento de descarga de inodoro en una construcción a escala real	38
1.2.1 <i>Demanda de agua gris a nivel domiciliario, en la descarga de inodoros</i>	39
1.2.2 <i>Costo de agua potable</i>	40
2. Marco conceptual	44
CAPÍTULO III	46
Metodología de la investigación	46
1. Tipo de Investigación	46
2. Diseño de investigación	47
3. Variables de la investigación	52
3.1 Variable predictoria	52
3.1.1 <i>Dimensiones</i>	52

3.2	Variable criterio.....	52
CAPÍTULO IV.....		53
Resultados y discusión.....		53
1.	Construcción de un sistema de recirculación de agua gris, de forma separada para captar y aprovechar las aguas grises.....	53
2.	Dinámica de variación de producción y consumo en el sistema de recirculación de agua gris construido.....	64
3.	Análisis de costos de la instalación del sistema de recirculación de agua gris construido..	80
4.	Evaluación de calidad de agua gris tratada y potable.....	87
5.	Propuesta de sistema de recirculación de agua gris para una vivienda unifamiliar	88
CAPÍTULO V.....		89
Conclusiones y recomendaciones		89
1.	Conclusiones	89
2.	Recomendaciones	91
Referencias		93
ANEXOS		97
	Anexo 1. <i>Panel fotográfico</i>	97
	Anexo 2. <i>Cálculo hidráulico</i>	98

TABLAS

Tabla 1. Sustancias y productos contenidos en aguas grises de lavatorio/lavadora en una vivienda.....	28
Tabla 2. Las dotaciones de agua para viviendas unifamiliares	31
Tabla 3. Usos, dotación y consumo.....	32
Tabla 4. Consumo de agua en litros por persona y día en américa Latina, Zona urbana	38
Tabla 5. Costo por metros cúbicos de agua gris.....	41
Tabla 6. Recomendaciones de parámetros de calidad para agua gris reciclada.....	44
Tabla 7. Escala de medición en poza de lavatorio de lavado de ropa y su correspondencia con el volumen de agua gris generado	51
Tabla 8. Componentes de sistema de recirculación de agua gris	55
Tabla 9. Características del contenido del filtro de grava y arena.....	58
Tabla 10. Recomendaciones de mantenimiento de un sistema de tratamiento físico de aguas grises	60
Tabla 11. Registro de dotación de producción de agua gris	64
Tabla 12. Registro de dotación de consumo de agua gris	68
Tabla 13. Resultados de parámetros estadísticos para escenarios de 1 y 2 habitantes .	71
Tabla 14. Costo de inversión de la construcción de Sistema de recirculación de agua gris construido-costo directo.....	81
Tabla 15. Estructura Tarifaria	82
Tabla 16. Ahorro económico con el sistema de recirculación de agua gris construido - en facturación por servicio de agua potable.....	83
Tabla 17. Ahorro económico con el sistema de recirculación de agua gris - facturación por servicio de alcantarillado.....	84
Tabla 18. Ahorro económico – servicio de agua potable y alcantarillado.....	85
Tabla 19. Estimación de ahorro económico para 1 año para población servida de Juliaca por reúso de agua gris.....	85
Tabla 20. Proyección de ahorro económico para los próximos 12 años por reúso de agua gris en el caso de la ciudad de Juliaca.....	86
Tabla 21. Evaluación de parámetros de calidad de agua gris potable	87

FIGURAS

Figura 1. Composición de aguas servida según origen, extraído de Franco M. (2007).	36
Figura 2. Composición de aguas grises según origen, extraído de Franco M. (2007).	36
Figura 3. Consumo de agua en litros por persona y día en América Latina, Zona urbana, extraído de Kestler P. (2004).	37
Figura 4. Diagrama de bloques de producción de agua gris y consumo de tanque de inodoro en sistema convencional.	48
Figura 5. Diagrama de bloques de producción de agua gris y consumo de tanque de inodoro en sistema de recirculación de agua gris para descarga de inodoro.	49
Figura 6. Escala de medición para correspondencia con volumen de producción de agua gris en lavatorio de ropa.	50
Figura 7. Diagrama de proceso del sistema de recirculación de agua gris construido.	55
Figura 8. Tratamiento de eliminación de agua gris oscura en sistema de recirculación de agua gris construido.	61
Figura 9. Cribado, lavado e instalación de filtro de arena para sistema de recirculación de agua gris construido.	62
Figura 10. Variación diaria de producción de agua gris medido para escenario de 1 habitante.	66
Figura 11. Variación diaria de producción de agua gris medido para escenario de 2 habitantes.	66
Figura 12. Variación diaria de consumo de agua gris e inodoro medido para escenario de 1 habitante.	69
Figura 13. Variación diaria de consumo de agua gris e inodoro medido para escenario de 2 habitantes.	70
Figura 14. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 1 habitante.	73
Figura 15. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 2 habitantes.	75
Figura 16. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 2 habitantes sin incidencia del escenario de 1 habitante.	77
Figura 17. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 2 habitantes sin incidencia del escenario de 1 habitante ni fuga o pérdida de agua gris.	78
Figura 18. Abastecimiento de tanque de inodoro con agua gris y potable para diferentes condiciones de operación del sistema de recirculación de agua gris construido.	80

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico	97
Anexo 2. Cálculo Hidráulico	98
Anexo 3. Análisis de calidad de agua gris en laboratorio	103

SÍMBOLOS USADOS

ONU : Organización de Naciones Unidas

SNRH : Sistema Nacional de Recursos Hídricos

IO : Ósmosis Inversa

OS : Obras de saneamiento

EAB : Empresa de Acueductos, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, Colombia

DPAG : Dotación de producción de agua gris

DCAG : Dotación de consumo de agua gris

EPS : Empresa prestadora de servicios

Resumen

La dotación de agua potable para consumo humano en ciudades es cada vez más baja y se emplea usualmente en actividades que no requieren esta calidad, tal es el caso de agua potable utilizado para descarga en inodoro. En ese sentido, para este trabajo se construyó un modelo piloto a escala real de un sistema de recirculación de agua gris producida en actividad doméstica de lavado de ropa en techo que cuenta con los componentes de captación, filtración, almacenamiento y distribución para el abastecimiento de inodoros, donde se evaluó aspectos operativos de funcionamiento, cuantificación de variación de volúmenes de producción y consumo de aguas grises en descargas de inodoros a nivel domiciliario.

Los resultados mostraron que el agua gris producido abastece en un 93,9% en condiciones ideales al consumo de descarga en inodoros, por consiguiente, en una comparación entre sistema convencional y con recirculación se advierte que en un periodo de 10 años, se amortiza el costo empleado en instalación del sistema con recirculación de agua gris.

Por consiguiente, este sistema opera técnica y económicamente en forma sostenible, la cantidad de agua producida de agua gris abastece parcialmente el consumo de inodoro, que permite el ahorro en uso de agua potable y por ende implicaría una ampliación de cobertura a personas que aún no cuentan con el servicio por parte de la empresa prestadora del servicio, y generar menores cantidades de aguas residuales con consiguiente reducción de impactos negativos al ambiente.

Palabras clave: Aguas grises, recirculación, construcción piloto, consumo de inodoro.

Abstract

The supply of drinking water for human consumption in cities is increasingly low and is usually used in activities that do not require this quality, such as drinking water used for flushing in the toilet. In this regard, a real-scale pilot model of a gray water recirculation system produced in domestic roof washing activity was built for this work. It has the collection, filtration, storage and distribution components for the supply of water. toilets, where operational aspects of operation were evaluated, quantification of variation of production volumes and consumption of gray water in flushes of toilets at home level.

The results showed that the gray water produced supplies 93,9% under ideal conditions to the consumption of flushing in toilets, therefore, in a comparison between conventional system and with recirculation it is showed that in a period of 10 years, the cost used in installation of the system with gray water recirculation, it is amortized.

Therefore, this system operates technically and economically in a sustainable manner, the amount of water produced from gray water partially supplies the consumption of the toilet, which allows savings in the use of potable water and therefore would imply an extension of coverage to people who still do not they have the service provided by the company that provides the service, and generate smaller amounts of wastewater with consequent reduction of negative impacts to the environment

Keywords: Grey waters, recirculation, pilot construction, toilet consumption.

CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

1. Problemática del estudio

Entre 2011 y 2050 se espera que la población mundial aumente un 33%, pasando de 7 000 millones a 9 300 millones de habitantes, además, se prevé que la población que vive en áreas urbanas casi se duplicará, pasando de 3 600 millones en 2011 a 6 300 millones en 2050, asimismo, el mundo podría enfrentarse a un déficit mundial de agua del 40% en 2030, por lo que se considera fundamental mejorar la eficiencia en el uso del agua para hacer frente a esta brecha entre la oferta y demanda y mitigar su escasez, según lo señala el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2011). (UNESCO, 2016).

Al respecto, el problema se acrecienta por el crecimiento poblacional, densificación de ciudades, desarrollo industrial entre otros, que generó el incremento en el consumo del agua potable, situación que aumentó en los últimos años y genera gran preocupación mundial; ya que hay 1 500 millones de personas en el mundo sin acceso a agua potable y 2 400 millones que no tienen sistemas de saneamiento, asimismo, se prevé que los recursos hídricos disminuirán continuamente a causa de la contaminación y previsible cambio climático, por consiguiente, ninguna región se librará del impacto de esta crisis que afecta a todos los aspectos de la vida. (UNESCO, 2007).

Al respecto, según el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014), revela que el Perú se ubica entre los 12 países que ya estarían afrontando estrés hídrico, asimismo, esta situación se agrava por las malas prácticas y costumbres que aún mantenemos en el uso (*abuso*) del agua.

En particular, la ciudad de Juliaca no es ajeno a esta problemática, tal como lo advierten las publicaciones periodísticas que señalan “San Román: Declaran en emergencia servicios de agua y desagüe en Juliaca”; “San Román: Declaran en situación de emergencia el servicio de agua potable en Juliaca”, además las viviendas poseen inodoros antiguos con cisternas o tanques que consumen grandes cantidades, las personas que tienen este servicio lo desperdician, en consecuencia la cantidad de este líquido imprescindible es insipiente y resulta insuficiente para realizar todas sus actividades del día, por lo que es primordial promover el uso eficiente del agua potable domiciliario.

En tal sentido, no existe medidas a nivel domiciliario para el uso eficiente del agua, se tiene desconocimiento por parte de los consumidores para con la cantidad de agua potable que demanda la descarga de inodoro en una vivienda; asimismo, se tiene investigaciones y estudios que proponen sistemas de reúso de aguas residuales a nivel conceptual, por lo que se desconoce sus aspectos operativos en dicho sistema, asimismo, se tiene incerteza de la dinámica de producción de aguas grises y consumo con el tiempo en un sistema diseñado de forma separada para recirculación agua gris a nivel domiciliario.

Por otra parte, Juliaca, similar a otras ciudades en el mundo, la mayoría de viviendas están diseñadas de manera que se destinan el uso de agua potable para todas las actividades, no obstante la cantidad de agua potable que ingresa a un hogar es devuelta a las alcantarillas en forma conjunta convirtiéndose en aguas negras, sin ninguna previsión de separación de las mismas; por eso es necesario plantearse la implementación de

sistemas eficientes y sostenibles que eviten el consumo desmesurado de agua potable en actividades domésticas que no requieran tal calidad potable y promuevan su ahorro, siendo por lo tanto de gran potencial los sistemas de recirculación de agua gris generados de lavado de ropa que se plantea en la presente investigación, para su uso en descarga de inodoros.

2. Formulación del problema

2.1 Problema General

¿Cuál es comportamiento operativo en el tiempo de un sistema de recirculación de agua gris para su uso en descarga de inodoro en una construcción piloto a nivel domiciliario a escala real?

2.2. Problema Derivado

¿Qué componentes básicos debe tener un sistema de recirculación instalada de forma separada para captar y aprovechar de manera eficiente las aguas grises?

¿El volumen producido de agua gris será suficiente para abastecer el consumo en la descarga de inodoro?

¿El análisis de costo del servicio de agua potable con sistema de recirculación de agua gris construido, como incide económicamente en comparación con la instalación convencional?

3. Antecedentes de investigación

En relación al presente estudio propuesto se pueden citar diferentes aspectos de análisis que comprenden desde lo técnico, ambiental, económico, legal y social, en relación a lo técnico, se puede mencionar el trabajo de tesis de Kestler (2004), "Uso, reúso y reciclaje del agua residual en una vivienda", donde señaló como objetivo proponer

especificaciones para reducir el consumo del agua potable a través de la reutilización de aguas residuales domésticas en una vivienda, bajo condiciones ambientales seguras; estudio planteado por problemas graves relacionados a falta de agua y limitación del abastecimiento, asimismo, resaltó que la mayoría de viviendas construidas, no están diseñadas para evitar el desperdicio del agua potable a causa de su uso inadecuado.

La metodología consistió en proponer especificaciones para la reutilización de aguas residuales domésticas en una vivienda individual de clase media, a través de la revisión de fuentes bibliográficas y entrevistas a profesionales de experiencia en el área de estudio, al respecto, se concluyó que en ocasiones se usan recursos de alta calidad (agua potable) para desarrollar servicios que no exigen tal calidad (tanque de inodoro), que afecta el consumo y gasto de agua potable, la inversión para la implementación del sistema de reúso es de bajo costo debido a que puede adaptarse al sistema existente, se puede utilizar la tubería existente del inodoro, pero es necesario corregir la tubería y desviar el agua residual al depósito acumulador para abastecer al inodoro, la diferencia entre un sistema de reutilización e instalaciones antiguas se basan en la posibilidad de poder instalar la doble canalización para las aguas grises.

En relación a lo anterior, si bien el estudio a nivel conceptual muestra condiciones favorables para el sistema de reúso en una vivienda, no se establece parámetros de cálculo o diseño, ni se considera aspectos operativos que condicionan el diseño.

Seguidamente, Sanz (2007) en su tesis de grado de Master de “Estudio de viabilidad de reutilización de aguas residuales depuradas de una planta petroquímica mediante tecnología de membrana”, estudio realizado con el objetivo de desarrollar a nivel conceptual un sistema basado en un proceso de Ósmosis Inversa (OI) para la reutilización de aguas residuales depuradas, procedentes de una industria petroquímica; planteado debido a que en la industria petroquímica situada en la comunidad Valenciana en España,

la disponibilidad de agua de calidad para procesos y diferentes servicios auxiliares fueron afectadas por la escasez de recursos hídricos y empeoramiento de la fuente utilizada situada a 1 km. del mar Mediterráneo. Por otro lado, un volumen de agua considerablemente elevado es vertido continuamente al mar, mediante un colector submarino, en forma de efluente final de la estación de depuradora de aguas residuales de la empresa.

Dentro de las conclusiones se puede destacar, que la calidad del efluente secundario que alimenta el sistema de Osmosis Inversa incide sobremanera en el porcentaje de conversión global. Asimismo, si el efluente presenta elevada salinidad, no se podrían obtener los volúmenes de agua regenerada de calidad inicialmente calculados, que denota la necesidad de sistemas de tratamiento tecnológicos como la Osmosis Inversa, según el uso o calidad requerida.

Seguidamente, se tiene el estudio de Llanos (2012), quien en su tesis de grado de Maestría presenta un enfoque técnico en su trabajo de "Propuesta de instalación hidráulica sanitaria para la reutilización de aguas grises y aprovechamiento de agua pluvial en unidades habitacionales ubicadas en la ciudad de México", que tiene el objetivo de desarrollar una propuesta metodológica para determinar la factibilidad económica de incorporar en los nuevos desarrollos habitacionales, instalaciones que permitan la utilización de agua pluvial y agua gris tratada para satisfacer la demanda de agua, que obedece al problema de suministrar de agua a la ciudad de México que representa una problemática de grandes proporciones desde la época prehispánica hasta la actualidad.

El estudio concluye que la propuesta de diseñar una instalación hidráulica sanitaria para utilizar agua gris tratada en una unidad habitacional consideró los siguientes aspectos: 1) el volumen de aguas grises generado por día, 2) definición de actividades que fueran factibles de utilizar agua gris tratada y estimación del volumen requerido, 3)

propuesta de una instalación hidráulica sanitaria que separe las aguas grises de las negras, 4) propuesta de Instalación hidráulica sanitaria para la reutilización de aguas grises en unidades habitacionales ubicadas en la Ciudad de México y 5) cálculo de costos de instalación, operación y mantenimiento.

Seguidamente, se puede mencionar el trabajo de tesis de grado de Niño y Martínez (2013) “Estudio de las aguas grises domesticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá”, cuyos objetivos son la caracterización de aguas grises, potencial uso e identificación de posibles tratamientos sanitarios, como respuesta a la problemática de determinar el valor de los beneficios asociados a la implementación del reúso de aguas grises que no se ha estimado localmente, los beneficios de esta práctica no están determinados por el mercado, no existe una reglamentación adecuada y el verdadero potencial de reutilizarlas no se ha establecido.

En relación a la metodología, se consideró la selección de tres viviendas de estratos socio-económicos 1, 3 y 5 de la ciudad de Bogotá, se recolectó agua gris doméstica en una campaña, que se desarrolló tomando una muestra por cada vivienda en un día típico entre semana, y otro un día en fin de semana de la misma semana durante 17 horas del día. Para cada día se midió el volumen de cada punto efluente de agua gris doméstica y se tomó la muestra de agua suficiente, producto de la mezcla de estos volúmenes, para posteriormente realizar el análisis requerido.

Al respecto, se concluye que los puntos de mayor consumo de agua potable en las viviendas estudiadas para el estrato 1 y 5 fue la lavadora y en el estrato 3 fue el sanitario; en la vivienda de este estrato se emplean aparatos sanitarios antiguos (no ahorradores). Se evidencia entonces la efectividad de emplear aparatos de bajo consumo, asimismo, la producción per cápita de aguas grises presentó, a diferencia del consumo, valores crecientes según mayor sea el estrato. Esto debido al gran impacto que tienen las aguas

del lavado de ropa en el balance general de consumo de agua, por lo que se consideró pertinente estudiar cada uno de los ciclos de la lavadora en forma individual, teniendo en cuenta que es uno de los rubros de mayor generación de aguas grises en las viviendas.

Lo vertido, indica la necesidad de estudio de los ciclos de agua gris producido por la actividad de lavado, siendo el mayor generador de aguas gris, así como la demanda de los aparatos sanitarios que también constituye el más alto en cuanto a consumo, el referido estudio si bien efectúa la caracterización del líquido en cuanto a su calidad, corresponde a la mezcla de diversas actividades, no existiendo la caracterización de agua gris proveniente netamente de la actividad de lavado.

A continuación, se menciona a Baquero (2013), en su artículo “Ahorro de agua y reutilización en la edificación en la ciudad de Cuenca, Ecuador”, cuyo objetivo es incorporar en un proyecto arquitectónico un sistema que permita la reutilización de aguas residuales poco contaminadas bajo condiciones sanitarias seguras en actividades domésticas que no requieran agua potable, como estrategia de ahorro del recurso agua.

En relación al estudio, la metodología planteada consistió en conceptualizar el sistema de reutilización de aguas grises provenientes de lavamanos, duchas y lavadoras que se utilizará en el proyecto, y finalmente se lo aplica en un anteproyecto que consiste en dos torres multifamiliares que contarán con 348 habitantes, lo que permitirá un ahorro de agua y reutilización a mayor escala que si se realizara en una vivienda unifamiliar, al respecto, el artículo concluye que el diseño en un proyecto multifamiliar sería proporcional al número de plantas, tanto en su recolección como en su almacenamiento y sistema de bombeo.

Seguidamente, Espinal, Ocampo, y Rojas (2014) , presentan su trabajo de tesis de grado de “Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de agua gris en el Hogar”, cuyo objetivo fue la construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar, para atender el problema de que el agua potable muchas veces

está destinada a usos en los que no es imprescindible la calidad requerida para consumo, asimismo, la utilización de agua potable en actividades que tal vez no lo requieren se pudiese ver como un lujo o acción innecesaria para el hogar.

Debido a los alcances experimentales de prototipo del proyecto, se advierte que el sistema construido de reúso o reciclaje consta de las etapas de pre-recolección de aguas grises, almacenamiento de aguas grises, filtro de arena, filtro de membrana, pre-recolección de agua filtrada, almacenamiento de agua reciclada, sistema mecánico y sistema eléctrico de automatización; se debe precisar que el tratamiento a nivel sanitario planteado es complejo debido a que el estudio considera aguas grises provenientes de diversas fuentes de generación.

Posteriormente, se cuenta con el estudio de Moreno y Quintero (2014), trabajo de tesis de “Reutilización de agua en construcciones verticales”, realizaron el diseño conceptual de una red hidrosanitaria de reutilización de aguas grises en construcciones verticales, donde se destaca que la oferta y calidad del agua se han reducido progresivamente en las últimas décadas debido al crecimiento urbano, a la deforestación y degradación en las cuencas, a la contaminación y a los impactos no controlados de actividades industriales, agrícolas, ganaderas y energéticas, asimismo, en las regiones y municipios se registran fenómenos preocupantes de baja o nula disponibilidad así como de calidad deficiente del agua.

La metodología del estudio consistió en aplicar encuestas y caracterización en laboratorio del agua para reúso.

En el referido estudio, se advirtió que países como España (AQUA España) y Australia (gobierno de Australia) tienen un esquema e ideas claras acerca de la reutilización del agua y más específicamente la reutilización de agua en hogares, en Sudáfrica se tiene una estrategia para reutilizar el agua, con el fin de utilizarla en sus riegos.

Dentro de las conclusiones más importantes, se indica que la población encuestada en Bogotá, está de acuerdo con la reutilización de agua lo que indica que la comunidad universitaria tiene un sentido ambientalista y una visión futurista permitiendo y aceptando la implementación de técnicas de reutilización en la infraestructura de la ciudad; por ende indica que se tiene aspectos favorables en lo social para su implementación, asimismo, el agua jabonosa es de difícil tratamiento, la manera óptima de reducir su turbiedad es permitiéndole decantar los sólidos suspendidos, y se evidenció la falta de estándares de calidad para la reutilización de agua en América Latina.

Por ende, se puede advertir que existen intentos aislados de abordaje integral del reúso, que contempla aspectos jurídicos, económicos, tecnológicos, institucionales, incluso ambientales y sociales; lo que muestra que el tema del reúso de aguas está aún en proceso de estudios en sus diversos aspectos.

Por otra parte es importante precisar el estado actual del marco normativo de reúso de aguas residuales en nuestro país, al respecto, el Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH) fue creado por Decreto Legislativo 1081 en septiembre de 2008. Su objetivo principal es asegurarse que todos los sectores del gobierno nacional, regional y local, que tiene cualquier tipo de autoridad sobre asuntos del agua y los usuarios que pueden ser individuos, asociaciones o empresas, trabajen en forma coordinada para asegurar que los recursos hídricos sean usados en una forma sostenible, efectiva y eficiente; lo anterior constituiría el asentamiento de bases para un marco regulatorio específico, sin embargo, el reúso de aguas grises a nivel domiciliario aún es inexistente, que implica la necesidad de estudios de investigación en sus diversos aspectos como el propuesto en el presente estudio.

4. Objetivos de investigación

4.1. Objetivo general

Evaluar los parámetros operativos de un sistema de recirculación de agua gris para su uso en descarga de inodoro en una construcción piloto a nivel domiciliario a escala real.

4.2. Objetivos operacionales

Construir un sistema de recirculación de forma separada para captar y aprovechar las aguas grises.

Cuantificar la dinámica de la variación de los volúmenes de producción y consumo diario en el sistema de recirculación de agua gris construido.

Analizar el costo del servicio de agua potable en el sistema convencional vs la instalación del sistema con recirculación de agua gris construido.

5. Justificación

Con una población mundial de más de siete mil millones de habitantes, aproximadamente dos mil quinientos millones viven en regiones con escasez de agua; estimándose que para el año 2025 serán tres mil quinientos millones. Este incremento, añadido al desarrollo industrial y agrícola, originará una situación de falta de agua en diversas regiones del planeta. (Tello, Mijailova, & Chamy, 2016). Por lo tanto, es importante que se efectúen estudios e investigaciones sistemáticos en relación a los efectos e implicancias que plantean la escasez de agua por el acelerado crecimiento de la población asentado sobre todo en ciudades.

En relación a lo anterior, el crecimiento urbano implica la demanda de infraestructura, que trae consigo la necesidad de diversos servicios básicos cada vez mayores, los sistemas de abastecimiento de agua potable, que en ocasiones son insuficientes para la dotación a toda la población que crece, por otro lado son escasos los estudios de mejora de eficiencia del uso del agua a nivel domiciliario, que imposibilita la adopción de medidas

tendientes a mejorar la situación y hacer un uso sustentable del agua potable para consumo humano.

En relación al presente estudio, la vivienda unifamiliar está ubicada en la ciudad de Juliaca, con un crecimiento acelerado de la población, donde en relación al servicio de agua potable, trae como consecuencia la falta de acceso, sobre todo para los nuevos usuarios, el servicio es restringido a menos de cuatro (4) horas; la ampliación y mejoramiento en ese sector demandan altos costos de inversión, por consiguiente, es necesario darle un enfoque integral de gestión eficiente y evaluar alternativas que involucren usos sustentables del agua potable a nivel de consumo, empero ello demanda estudios e investigaciones que contribuyan a posibilitar la implementación de propuestas de uso eficiente y sustentable a nivel domiciliario.

La instalación del sistema de recirculación de forma separada en una construcción para dar un uso eficiente al agua potable, reduciría el gasto económico para el usuario por concepto del servicio de agua potable, la evacuación de aguas negras domiciliarias a la red pública de alcantarillado presentarían menores volúmenes, en tal sentido, el impacto ambiental negativo disminuiría, los costos de potabilización se reducirían al existir menor demanda, además suministrar mayor cobertura del servicio de agua potable a la población.

En relación a la experimentación a nivel piloto en escala real, se debe precisar que es una herramienta útil para evaluar la dinámica de ocurrencia a nivel operativo, que posibilita verificar o abordar los principales mecanismos e interacción que se desarrollan en proceso de ocurrencia (recirculación de agua), a través de estas pruebas piloto a escala real es posible comprender algunas propiedades de estos sistemas, así como prever sus reacciones de producción y consumo de agua gris. Asimismo, estas herramientas permiten conocer los impactos subsecuentes de cambios hipotéticos planteados a nivel operativo, que finalmente posibilitan establecer parámetros operativos y de diseño que puede adoptarse en la proyección de nuevas construcciones con enfoque sustentable.

De lo anterior, en el presente trabajo se construyó un piloto a escala real en una edificación residencial con sistemas separados de instalaciones sanitarias para el aprovechamiento y la recirculación de las aguas grises sobre la base de las recomendaciones vertidas en la bibliografía en donde el agua gris recirculada se canaliza hasta la descarga por gravedad; donde se realizó mediciones de aspectos operativos de producción y consumo de agua gris, al respecto, si bien existen estudios aislados, son a nivel conceptual, pues no se tienen antecedentes conocidos de experimentación en pilotos a escala real a nivel domiciliario de este tipo con recirculación por gravedad, que hace factible la implementación de la construcción piloto para fines del estudio debido a su costo relativamente bajo, esperando que este trabajo sirva de referencia para futuras investigaciones de reúso de agua a nivel domiciliario con enfoque sostenible, un tema abordado con poca frecuencia en el mundo y sobre todo en el Perú.

CAPÍTULO II

Fundamento teórico de la investigación

1. Marco teórico

1.1 Recirculación de agua gris a nivel domiciliario

Agua.- El agua es un elemento esencial de la vida. Pero es más que esencial para calmar la sed o la protección de la salud; el agua es vital para la creación de puestos de trabajo y para apoyar el desarrollo económico, social y humano. El poder del agua transforma la vida de las personas, según Ingeniería Sanitaria y Ambiental primer trimestre (2016, p.22).

Agua para consumo humano.- Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. (MINSA, 2011, p.10)

Agua potable.- Agua incapaz de transmitir enfermedades, libre de concentraciones excesivas, sustancia mineral y orgánica, de toxicidad y agradable a los sentidos. (Kestler, 2004, p.30).

Agua residual.- Agua alterada en su calidad por el uso que se ha hecho de ella. (Aguilar, 2010, p.16).

Agua gris doméstico.- Es el agua residual producida de lavaderos, duchas, pilas, etc. Su característica principal es que contiene grandes cantidades de jabón y escasa presencia de bacterias coliformes. (Ibid, 2010, p.16). Por otro lado, agua gris significa aguas residuales de lavadoras, tinas de lavandería, duchas, lavabos y lavatorios donde se utiliza un dispositivo de desviación de agua gris. No incluye las aguas residuales de una cocina, inodoro, urinario o bidet.

También se entiende por aguas residuales de lavadoras, cubas de lavandería, duchas, lavabos, baños y cocinas donde se utiliza un sistema de tratamiento de aguas grises (NSW, 2010, p.18).

Por otro lado, la mayoría de autores coinciden en que corresponden a aguas residuales domésticos con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios, llamadas aguas negras, otros excluyen además de esta definición aguas provenientes de la cocina. Una subdivisión usual es separar las aguas grises en claras y oscuras, siendo las primeras correspondientes a lavamanos, duchas y tinas, y las segundas a lavadoras y lavaplatos. (Franco, 2007, p.7).

Asimismo, las aguas grises son aguas residuales domésticas no tratadas que no han entrado en contacto con los desechos del inodoro. El agua gris incluye el agua usada de las bañeras, duchas, cuarto de baño, lavabos, y agua de las lavadoras de ropa y de las tinas del lavadero. No incluye las aguas residuales de fregaderos o lavavajillas. Al respecto, Alkhatib (2008, p.21), dividió el agua gris en dos tipos de acuerdo con la carga, donde el primer tipo es el agua gris de alta carga, que comprende las aguas residuales generadas por la cocina, lavadora y lavavajillas. El segundo tipo es el agua gris de baja carga, que comprende las aguas residuales generadas por el baño, la ducha y el lavamanos.

Agua gris de lavado de ropa.- El contenido inorgánico de agua gris se acerca a la calidad del agua potable y no necesita tratamiento avanzado.

Tipos de reúso para aguas grises

Usos Urbanos.- Entre los usos urbanos dados a las aguas grises son de tipo no potable, entre estos tenemos en tanques de inodoros y urinarios entre otros.

Los principales usos urbanos del agua gris son en riego y tanques de inodoros, el uso en tanques de inodoros permite un ahorro de un 30 a 40% del agua usada al interior de la vivienda, permitiendo un considerable ahorro de este recurso, (Franco, 2007, p.22).

Características generales de las aguas grises

Las características de las aguas grises dependen en primer lugar de la calidad del agua suministrada, en segundo lugar, del tipo de red de distribución del agua potable y gris, y en tercer lugar de las actividades en el hogar.

Los compuestos presentes en las aguas grises varían de una fuente a otra, donde los estilos de vida, las costumbres, las instalaciones y uso de productos químicos de uso doméstico serán de importancia en su composición. La composición puede variar significativamente en términos de tiempo y lugar, debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades de sustancias vertidas. Además, podría haber degradación química y biológica de los compuestos químicos, dentro de la red de transporte y durante el almacenamiento (Niño et al., 2013, p.32).

Tabla 1. *Sustancias y productos contenidos en aguas grises de lavatorio/lavadora en una vivienda.*

Origen	Contenido	Observaciones
Lavatorio de Ropa/lavadora	Altas concentraciones de detergentes y regulares de químicos como cloro, además de pelusa.	El lavado de pañales puede elevar drásticamente los niveles patógenos

Fuente: Niño et al. (2013, p.38)

Las aguas grises son aguas con un bajo nivel de contaminantes y la casi ausencia de productos orgánicos, por lo cual puede ser reutilizada en las viviendas para limpieza, uso en el sanitario y riego. Es importante tener en cuenta que no hay una solución única o establecida para la gestión de las aguas grises, por lo cual se seleccionan los tratamientos

que posiblemente se adapten mejor a las necesidades y usos finales, a su vez, es importante a la hora de seleccionar un tratamiento de aguas grises tener en cuenta el costo y la vulnerabilidad del mismo (Ibid, 2013, p.39).

1.1.1 Uso eficiente del agua potable distribuida a nivel domicilio

Uso eficiente de agua potable.- Este término contiene tres aspectos importantes: el uso, la eficiencia y el agua. El uso significa que es susceptible a la intervención humana, a través de alguna actividad que puede ser productiva, recreativa o para su salud y bienestar. La eficiencia tiene implícito el principio de escasez, (el agua dulce es un recurso escaso, finito y limitado) que debe ser bien manejado, de manera equitativa, considerando aspectos socio-económicos y de género.

El uso eficiente del agua plantea varios desafíos, entre ellos, una implicación directa hacia el seguimiento continuo y la evaluación del desempeño en el tiempo (Espinal et al., 2014, p.24).

Medir es la clave en cualquier acción de uso eficiente del agua. De esta manera, se puede conocer la realidad y se pueden establecer modelos para predecir y planear mejor el futuro, mediante una visión integral (Ibid, 2014).

Uso del agua.- Dependiendo de la complejidad de la actividad urbana y de las fuentes de abastecimiento disponibles las cuales pueden ser de origen subterráneo o de origen superficial, en general, el agua se introduce a un sistema de abastecimiento de agua potable que consiste en: obras de captación, un proceso de potabilización, tubería de conducción, tanques de almacenamiento y tubería para la red de distribución. También el sistema de agua potable puede ser alimentado por medio de un pozo, en el cual la mejor forma de extraer el agua es mediante una bomba (Ibid, 2014).

Por lo tanto, el agua está lista para ser consumida en los hogares, comercio e industria, para luego ser canalizada mediante un sistema de drenaje por medio de una conexión domiciliar y con ello realizar un tratamiento del agua residual previa a ser descargado al cuerpo receptor (suelo, río, lago, etc.), o por aplicación directa al suelo (Ibid, 2014).

Otra forma de saneamiento domiciliario es la conexión directa a una fosa séptica en donde se genera el tratamiento y luego es descargado al cuerpo receptor o al suelo (Ibid, 2014).

Modelo de reúso.- En estas circunstancias, la idea de la reutilización convierte el gasto en tratamientos en una inversión productiva, pues en lugar de desechar el agua residual (aguas grises), es posible retornar al proceso productivo una fracción del agua residual tratada para que sea acondicionada apropiadamente para su reutilización. Este hecho tiene un efecto benéfico desde el punto de vista del consumo de agua potable. Al reusar agua residual tratada, las necesidades de entrada al proceso disminuyen y, por lo tanto, también la cantidad descargada. Esto trae consigo una cadena de ahorros derivados de varios hechos: primero, por estar consumiendo menos agua del servicio municipal; segundo, por disminuir el gasto de tratamiento (Generalmente proporcional al volumen de agua); tercero, por la disminución en el tamaño del tratamiento final para descarga y, por último, por la posibilidad de utilizar el agua para otros usos o usuarios (García, 1982).

Dotaciones.- Las dotaciones diarias mínimas de agua para uso doméstico, comercial, industrial, riego de jardines u otros fines, serán los que se indican a continuación:

Número requerido de aparatos sanitarios:

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2015, p.640), el número y tipo de aparatos sanitarios que deberán ser instalados en los servicios sanitarios de una edificación será de acuerdo con lo especificado:

- a) Todo núcleo básico de viviendas unifamiliares, estará dotado, por lo menos de: inodoro, una ducha y un lavadero.
- b) Toda casa-habitación o unidad de vivienda estará dotada, por lo menos de un servicio sanitarios que contara cuando menos con un inodoro, un lavatorio, y una ducha, la cocina dispondrá de un lavatorio.

Las dotaciones de agua para viviendas unifamiliares estarán de acuerdo con el área total del lote según la siguiente.

Tabla 2. *Las dotaciones de agua para viviendas unifamiliares*

Área total del lote en m ²	Dotación
Hasta 200	1500
201 a 300	1700
301 a 400	1900
401 a 500	2100
501 a 600	2200
601 a 700	2300
701 a 800	2400
801 a 900	2500
901 a 1000	2600
1001 a 1200	2800
1201 a 1400	3000
1401 a 1700	3400
1701 a 2000	3800
2001 a 2500	4500
2501 a 3000	5000
Mayores de 3000	5000 más 100 L/d por cada 100 m ² de superficie adicional

Fuente: RNE (2015, p.644)

Nota: Estas cifras incluyen dotación doméstica y riego de jardines.

Según señala el MVCS (2011, p.135) en el ítem de Propuesta de estándares relativos a infraestructura de agua potable y desagüe, efectuada la revisión de la normativa nacional e internacional sobre la infraestructura de agua potable y desagüe y tomando como referencia la situación de estos servicios en nuestro país, se han determinado los siguientes estándares, referidos a:

Dotaciones.- Uno de los parámetros a determinar para el servicio del agua es la dotación, que se encuentra en relación con el uso de la edificación. Este parámetro puede expresarse en: litros por m², litros por persona, litros por área útil, litros por cama, etc.

La suma de todas las edificaciones en una ciudad, nos dan el consumo promedio de dotación de agua, y la dotación promedio que requiere la ciudad.

Por consiguiente las empresas prestadoras de servicio, deberán trabajar con planes de desarrollo, estratos sociales para proyectar el crecimiento de la ciudad, y a su vez la dotación de la misma con el servicio del agua.

Tabla 3. Usos, dotación y consumo

Usos	Dotación	Consumo de agua
Viviendas unifamiliares	100 L/día/m ²	Residencial: 10-15 m ³ /mes
Edificios multifamiliares	500 – 1500 L/día	200 L/hab./día

Fuente: MVCS (2011, p.135), Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo propuesta preliminar

1.1.2 Diseño de instalación de forma separada para captar y aprovechar aguas grises

Reúso de agua en una vivienda.- El método requiere de previsión al momento de diseñar, rehabilitar o modificar una vivienda. Una persona consume entre 20 m³ y 25 m³ cada año de agua potable en el tanque de inodoro, contando como tal en uso doméstico diario de agua un gasto de 129 litros. Hay muchas maneras de reutilizar una parte del agua del abastecimiento, como el agua gris de la lavadora, para emplearla hacia otras actividades como el vaciado del inodoro, o el lavado de implementos. El tanque por ejemplo utiliza, comúnmente, agua potable, regularmente consume de 6 a 8 litros (depende del tipo de taza sanitaria utilizada) (Espinal et al., 2014, p.25).

Reutilizando las aguas grises para su empleo en el tanque de inodoro, se pueden ahorrar aproximadamente 500 litros a la semana, ya que más de un tercio del agua que se utiliza es para el inodoro (Ibid, p.26).

Al tener un excesivo desperdicio de agua doméstica, se debe considerar la necesidad de diseñar un sistema reciclador de aguas grises, al mirar las posibilidades es conveniente obtener agua para reciclar de la propia casa, para esto se requiere de un sistema de filtrado, para tal fin utilizar el agua reciclada en la zona donde más consumo existe que es el inodoro, el lavado de carros, o actividades como el riego de las plantas (Ibid, p.26).

Al respecto, las etapas que contempla estos sistemas de recirculación de aguas grises, se enumeran a continuación (Ibid, p.27):

1. Etapa de pre-recolección: en la cual se recoge el agua y se la conduce por tubería hacia un tanque de recolección.
2. Etapa de almacenamiento de aguas grises y distribución: esta es la parte en la cual se almacenan las aguas grises pre recolectadas, y se le da una salida para distribuir el agua hacia la etapa de filtrado.
3. Etapa de filtrado: El proceso en el cual el agua circula por filtros de ciertas características, logrando agua para uso externo y no de consumo.
4. Etapa de almacenamiento de agua reciclada: esta es la parte en la cual se almacena el agua proveniente de la etapa de filtrado, se le da una salida para utilizar el agua hacia donde se le requiera.

Pre-recolector de aguas grises.- El proceso de reciclaje de aguas grises va acompañado de un pre-recolector en forma de L, que tiene como objetivo filtrar en él las partículas de gran tamaño que puedan obstruir las bombas, válvulas o elementos al inicio del proceso de almacenaje del sistema que se puedan taponar, con el fin de lograr obtener un correcto

funcionamiento, y de esta manera poder almacenar las aguas grises en un tanque de buena capacidad para su posterior reciclaje (Ibid, p.27).

Filtro.- Es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzo a ser removida en los procesos anteriores (RNE, 2015, p.137).

Filtro de arena.- Son muy efectivos para retener sustancias orgánicas, pues pueden filtrar a través de todo el espesor de arena, acumulando grandes cantidades de contaminantes antes de que sea necesaria su limpieza (Espinal, 2014, p.27).

Diseño del sistema de agua gris.- En general, las aguas de desecho contienen menos del 0.1% de materias sólidas, gran parte de dicha agua es procedente de la lavandería, asimismo, el sistema de reutilización de aguas grises consiste en conducir por medio de la instalaciones de tuberías de PVC de 1/2" de agua potable, donde unos dos miligramos por litro de cloro aumenta la eficacia de la eliminación de la grasa (Kestler, 2004, p.36).

La colocación de los tubos se hace, con cierta pendiente la cual no debe de ser menor al 2%. Se prefieren tipos de juntas elásticas a las rígidas (Ibid, p.36).

Tanque de almacenaje.- Para la propuesta del diseño del depósito acumulador se debe de tomar en cuenta el volumen necesario para el abastecimiento diario de los inodoros, donde las cantidades calculadas a continuación serán aproximadas (Ibid, p.38).

El depósito acumulador debe de tener las siguientes características (Ibid, p.39):

- Totalmente impermeable.
- Sistema de evacuación de sobrellenado mediante un aliviadero lateral en la parte superior del depósito, conectado a tubería de desagüe.

- El depósito será ubicado en algún lugar de la vivienda que sirva como bodega y no sea muy transitado por personas y se tenga la precaución de no ser manipulado por personas que desconozcan su contenido.
- Resistente a las presiones del suelo y a sismos.

1.1.3 Volumen de cuantificación de agua gris

Volumen producido de agua gris

Medidas volumétrica.- La medición volumétrica, es la norma general que se aplicará en los diversos usos de las aguas, siendo obligatorio que los usuarios instalen los dispositivos de control y medición para su distribución y aprovechamiento adecuados, señalado por la ley general de aguas, decreto ley N° 17752. (1969, p.4).

Producción de agua gris.- El agua gris es generada por cada hogar residencial que está ocupado, y puede ser reutilizada para proporcionar una fuente confiable de agua para aquellos usos que no requieren agua potable (incluyendo riego, lavado del inodoro y uso de la lavadora). (NSW, 2010, p.7).

Estudios realizados en diferentes países indican que el porcentaje de aguas grises, presentes en aguas servidas domésticos, se encontraría entre 50% y 80% o, más acotado aun, entre 60 y 70%. (Franco, 2007, p.7).

Composición de Aguas Grises según Origen

En las figuras 1 y 2, se presentan la composición porcentual media aproximada según origen de las aguas servidas y grises respectivamente:

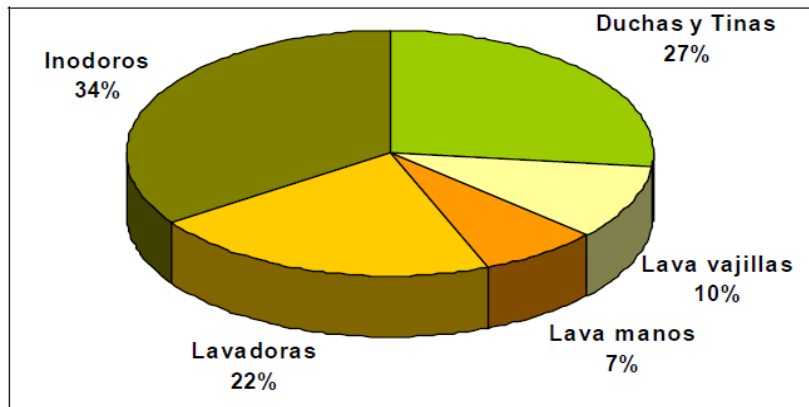


Figura 1. Composición de aguas servida según origen, extraído de Franco M. (2007).

Es claro que estos porcentajes en cada vivienda varían según el lugar, el ingreso económico, las costumbres, el clima, la época del año, etc. No obstante, la figura 2 sirve como parámetro de referencia, obteniéndose según éste, que la producción de agua grises se encontraría en el rango de 60 a 70% del total de agua residual (Ibid, p.9).

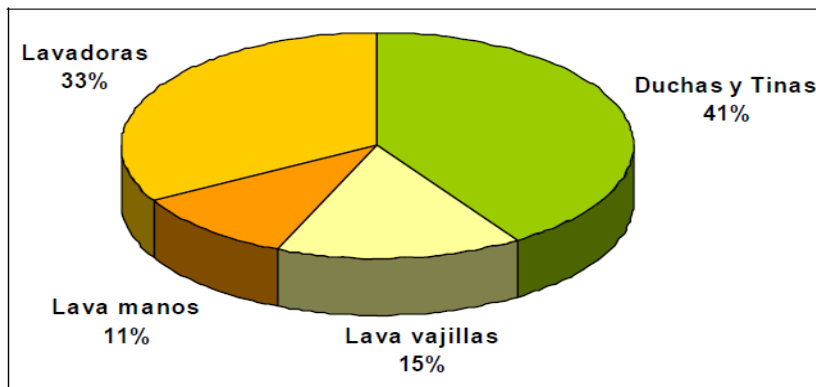


Figura 2. Composición de aguas grises según origen, extraído de Franco M. (2007).

Caracterización de Aguas Grises.- La composición de las aguas grises es también un factor variable, dependiente de las costumbres de personas, edades y sexo, de los productos de limpieza ocupados, del número de personas en la vivienda, de las características del agua potable, de la época del año, de la hora del día, del clima, entre muchos otros factores. Es posible caracterizar las aguas de acuerdo a los mismos parámetros que las aguas residuales domésticas, la variación entre unas y otras radica en

las diferentes magnitudes de dichos parámetros las aguas grises se pueden caracterizar física, química y biológicamente (Ibid, p.8).

Método de reúso de agua en una vivienda.- Es un método muy sencillo, pero requiere de previsión al momento de diseñar, rehabilitar o modificar una vivienda. Una persona consume entre 20 m³ y 25 m³ cada año de agua potable en el tanque del inodoro. Una de las viables es simplemente reutilizar el agua de la ducha y lavamanos para emplearla en el tanque del inodoro. El tanque utiliza, comúnmente, agua potable que regularmente consume de 6 a 8 litros (depende del tipo de taza sanitaria utilizada) (Kestler, 2004, p.23).

Reutilizando el agua de la ducha y lavamanos para su empleo en el tanque se pueden ahorrar aproximadamente 500 litros a la semana, ya que más de un tercio del agua que se utiliza es para el inodoro (Ibid, p.24).

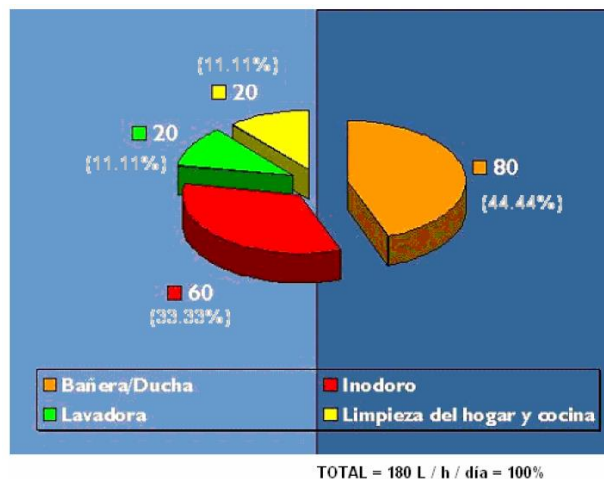


Figura 3. Consumo de agua en litros por persona y día en América Latina, Zona urbana, extraído de Kestler P. (2004).

El agua de las duchas, bañeras y lavamanos se puede reutilizar para el tanque del inodoro, donde las aguas grises son almacenadas en un depósito acumulador y por medio de tubería de PVC el agua es conducida para la alimentación del tanque de inodoro (Ibid, p.24).

Por otro lado, se presenta las dotaciones de demanda y descarga por actividades domésticas dentro de una vivienda que se muestra a continuación

Tabla 4. *Consumo de agua en litros por persona y día en América Latina, Zona urbana*

Tipo	Litro/Persona/día	
	Demanda	Descarga
Comida y Bebida	3	0
Lavado de Platos	4	4
Lavado de Ropa	20	19
Higiene Personal	10	10
Higiene con Tina y Ducha	20	20
Limpieza de la Casa	3	3
Inodoro (heces y orina)	20	22
TOTALES	80	78

Fuente: Kestler (2004, p.39)

Recirculación de agua gris

Conceptualmente es la acción y efecto de reutilizar. Utilizar algo, ya sea con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines. Operacionalmente, es consumir menos agua potable y por lo tanto disponer de más agua para otros usos o usuarios. (Kestler, 2004, p.31).

En suma, comprende la acción y efecto de utilizar en este caso el agua que se ha utilizado una vez, con otro propósito. (Aguilar, 2010, p.16).

1.2 Abastecimiento de descarga de inodoro en una construcción a escala real

Abastecimiento de agua gris en la descarga de inodoro

Reutilización de aguas grises.- Las aguas que provienen de la ducha, la lavadora o el lavamanos se pueden reutilizar para los tanques de inodoro. Para este sistema hay que

prever una segunda red de tuberías independientes para las aguas de la ducha, bañera o lavamanos hacia una instalación de tratamiento y depósito de almacenamiento, desde donde se bombea el agua tratada hacia los inodoros mediante una red propia. Para el caso de que las aguas grises no abastezcan el agua necesaria para las cisternas de los inodoros, el depósito de almacenamiento dispone de una alimentación de la red de abastecimiento. (Gramas, 2012)

En todo caso, el sistema debe impedir que puedan ponerse en contacto del agua de ambos orígenes. Igualmente revisar periódicamente las condiciones sanitarias del agua almacenada. El vertedero se conduce hacia el sistema de evacuación de aguas residuales. (Ibid, 2012).

1.2.1 Demanda de agua gris a nivel domiciliario, en la descarga de inodoros

Demanda de agua potable

Demanda de agua en edificios de viviendas.- La demanda de agua representa el volumen total consumido en el aparato sanitario, o en el conjunto de ellos, o en toda la vivienda. Si bien los patrones de consumo son importantes para realizar los análisis del potencial ahorro que se puede obtener con un determinado sistema, también es posible utilizar la información correspondiente a la demanda de cada uno de los aparatos en la vivienda para valorarlo. (López, 2015, p.32).

A la hora de extrapolar resultados para el estudio de una determinada implantación, la información no es tan precisa como en el caso de los patrones, y se puede prestar más a una manipulación, no siempre intencionada, de resultados. Sin embargo, es más fácil disponer de unos datos de consumos totales, demandas, que de los patrones de dichos consumos. (Ibid, p.33).

Los datos sobre la demanda de agua de una vivienda se pueden presentar en valor absoluto de cada uno de los aparatos o como el porcentaje de consumo de cada uno de los aparatos con respecto al volumen total demandado en la vivienda, (Ibid, p.33).

Demanda de agua gris.- Las ciudades del mundo están creciendo velozmente y necesitan utilizar aguas residuales de manera segura para cubrir sus demandas. (Eco, 2017).

Sistemas de reutilización de aguas usadas.- Se considera como agua residual la que ya ha sido utilizada en el domicilio, sea cual sea su procedencia. Para ciertos usos en el domicilio para los que no se requiere de una calidad de agua potable, se puede volver a usar el agua ya utilizada y convenientemente tratada. Esto es lo que se considera, en general, un sistema de reutilización de aguas usadas o de reutilización de aguas residuales. (López, 2015, p.76).

Para los edificios de tipo no industrial, el grado de contaminación es leve y el aprovechamiento que se realiza de las aguas usadas está más generalizado, la reutilización de las aguas usadas es mucho más específica de cada industria porque lo es el tipo de contaminación, generalmente de tipo químico, al que se ven afectadas las aguas de suministro. (Ibid, p.77).

1.2.2 Costo de agua potable

Tarifas para el uso de agua.- Según la SUNASS (2007), la tarifa básica comprende ingresos y costos vinculados a aquellos proyectos que son ejecutados y financiados con recursos internamente generados por la empresa prestadora de servicios. Los costos considerados deben cubrir las inversiones, así como los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura.

Costo del servicio de agua potable.- El costo que involucra el abastecimiento de agua potable, implica varias categorías tales como: operación y mantenimiento, fijos, costos de oportunidad, costos del recurso, costos sociales, costos marginales, costos ambientales, entre otros. (Pérez, Fuertes, López, & Herrera, 2006, p.5).

En relación a costos de agua gris, se presenta a continuación un estudio comparativo de costos tomando como referencia los costos de la Empresa de Acueductos, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), Colombia.

Tabla 5. Costo por metros cúbicos de agua gris

Estrato	Agua Potable	Alcantarillado	Agua gris		
	EAB (\$./m ³)	EAB (\$./m ³)	400 Habitantes (\$./m ³)	800 Habitantes (\$./m ³)	1000 Habitantes (\$./m ³)
3	2134	1307			
4	2511	1538	997	498	398

Fuente: Parra, Carrillo, y Velandia (2015)

En la tabla 5, se observa que el valor del m³ de agua gris frente al costo del m³ agua potable es menor en un 16% como en alcantarillado del 25%. Es evidentemente más económico para el usuario reutilizar el agua gris en actividades del hogar que pueden efectuarse sin requerir al suministro de agua potable. (Parra et al., 2015, p.141).

En consecuencia, el ahorro es considerable en la escala del uso de agua potable individual, si se observa la situación global. Viendo la condición de una urbanización en particular de 1000 casas, eso significa un ahorro de hasta 16 000 000 litros de agua potable solamente en los meses más secos (Espinal, 2014, p.16).

Normativas respecto al agua potable y residual en el Perú

Algunas normativas específicos que regulan al agua potable:

Obras de saneamiento.- La norma OS.030 Almacenamiento de agua para consumo humano y OS.100 Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria.

Instalaciones sanitarias.- La norma IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)

Resolución de Superintendencia N° 359-97-SUNASS.- Aprueban directiva sobre medidas que deben adoptar las EPS en situaciones de emergencia.

Misterio de Vivienda, construcción y Saneamiento.- Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo propuesta preliminar – 2011. Normalización de infraestructura urbana y propuesta de estándares.

Regulación normativa relevante para el tratamiento y uso de aguas residuales

Competencias: **El Ministerio del Ambiente (MINAM)** es la autoridad ambiental.

La **Autoridad Nacional del Agua (ANA)** es el organismo encargado de: Autorización de vertimientos de aguas residuales industriales, domésticas y municipales tratadas y autorización de reúso de aguas residuales industriales, municipales y domésticas tratadas.

La Ley de Recursos Hídricos (2009) establece en su artículo 79 que la ANA autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua, previa opinión técnica favorable de Autoridad Ambiental y Salud sobre el cumplimiento de estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), quedando prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

Resolución Jefatural 351 del ANA también establece que a partir de abril de 2010 las autorizaciones o renovaciones de vertimientos se otorgarán tomando en cuenta obligatoriamente los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental aprobados por Decreto Supremo No. 002-2008-MINAM.

De los anteriores se advierte que la normativa inherente a agua potable y residual, no establece parámetros de reutilización o eficiencia de uso de agua potable, siendo por lo tanto, necesario efectuar investigaciones y discusiones conducentes a definir una base y marco normativo idóneo que permita su aplicación, sobre todo en lo referente al reúso a nivel domiciliario.

Normativas de reúso de aguas residuales y grises en el Perú

La normativa aplicable al uso o reúso de aguas residuales a nivel domiciliario en el Perú es limitado, toda vez que la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, en su artículo 82°, así como su reglamento, apertura la posibilidad del reúso de agua residual tratada, sin embargo, sus considerandos son aún poco claros para su aplicación práctica. Asimismo, se debe indicar que dentro del marco normativo del país en relación al caso específico del uso o reúso de agua gris a nivel domiciliario es inexistente.

Normativas internacionales respecto al uso o reúso de agua gris

Al respecto, se menciona la experiencia de España en Europa, quien ha sido pionero en el tema de reutilización de aguas grises, donde se implementó estándares de calidad del agua para su aprovechamiento, se citan las siguientes normas de ese país:

- Gestión y reutilización de las aguas residuales es el Real Decreto 1620/2007 – España
- Guía española de recomendaciones sobre las aguas grises recicladas - documentos de referencia y consulta elaborados por AQUA España en 2011.

Esta última referencia a nivel de recomendaciones, indica que España, no cuenta con estándares específicos, por lo que en forma provisional y a la espera de resultados de nuevos estudios en curso, considera que los requisitos mínimos del agua gris reciclada en el punto de uso, son los que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 6. Recomendaciones de parámetros de calidad para agua gris reciclada

Aplicación	Residencial	Servicios
Control en el agua tratada	Resultados	
Turbidez (NTU)	<2	<10
E. Coli (UFC/100ml)	No detectado	<200
Biocida activo. En caso de cloro residual libre, si se adiciona cloro (Cl ₂ mg/L)	0,5-2,0	0,5-2,0
PH, si se adiciona cloro	7,0-8,0	7,0-8,0

Fuente: AQUA (2011, p.8)

Por otro lado, a nivel de Sudamérica, se puede mencionar la experiencia de Chile donde se advierte que la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) de ese país, no tiene competencia sobre las instalaciones intra-domiciliarias. Asimismo, existe un instrumento normativo que hace distinción del término “aguas grises” en la NCh 1105 Of 1999, norma que surgió en 1999.

En suma, en relación a nuestro país, no existe marco regulatorio o normativo de uso o reúso de agua residual (agua gris) a nivel doméstico; quedando por lo tanto, un vacío legal por estudiar, discutir y plantear dentro de las instancias competentes y actores involucrados, a fin de facilitar la implementación de este tipo de alternativas de bajo costo planteada en el presente estudio para mejorar la eficiencia del uso del agua potable en una vivienda.

2. Marco conceptual

Recurso Hídrico.- Es el recurso más valioso para todo los seres vivos en la tierra, sin contar con este líquido máspreciado la existencia de los personas no sería posible.

Agua gris.- Es el agua potable servida empleado en lavado de ropa.

Recirculación de agua gris.- Es el uso eficiente del recurso hídrico, con la finalidad de ampliar su cobertura de agua potable para la población.

Recirculación de las aguas grises domesticas.- aprovechamiento que se les da a las aguas grises con algún fin (inodoro), previo a su vertimiento al sistema de alcantarillado o a un cuerpo receptor.

Volumen producido de agua gris.- Es la cantidad de agua gris que se ha producido en el proceso de lavado de ropa, y dicho elemento está disponible para dar su segundo servicio.

Demanda (consumo) de agua gris.- Es la cantidad de agua gris que se requiere para abastecer las demandas en la descarga en inodoros.

Costo de agua potable.- Es la tarifa de agua potable que cobra EPS SEDA Juliaca a los usuarios conectados para cubrir los gastos de operación del servicio prestado.

CAPÍTULO III

Metodología de la investigación

1. Tipo de Investigación

La relación entre el aumento de la población en la ciudad de Juliaca y los problemas de agua potable que enfrenta ha sido un detonante en la preocupación por encontrar medidas que aporten al fortalecimiento de la seguridad hídrica de las ciudades; este trabajo de investigación se planteó con fines de estudiar aspectos operativos de un sistema de recirculación de agua gris en una vivienda unifamiliar, a fin que constituya una alternativa de uso eficiente del agua a escala domiciliaria, en relación a lo anterior, se debe precisar que no existe normativa ni legislación sobre reúso de aguas residuales en el Perú.

La vivienda unifamiliar donde se realizó la cuantificación de la dinámica del producción de agua gris y consumo del agua gris y potable para el abastecimiento del tanque de inodoro, medido en la operación de un sistema de recirculación a escala real construido, que se encuentra ubicada en la Urbanización Residencial Villa medica Calle Benjamín Carson manzana P lote 7 de distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, cuenta con una área de 100 m² de terreno total y 94 m² de área techada, la edificación es de un piso, cuenta con servicio de abastecimiento de agua potable, tiene un tanque elevado que abastece a la red de distribución interior para diversos usos domésticos; es necesario aclarar que la vivienda tiene su lavatorio de ropas en el techo, punto de captación para producción de agua gris doméstico.

En relación al estudio, Hernández, Fernández, y Baptista, (2014, p.4) menciona que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Asimismo, Hernández et al. (2014, p.91), señala que los estudios exploratorios se emplean cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado o novedoso, como es el caso estudiado en la presente investigación.

2. Diseño de investigación

Hernández et al. (2014, p.128), señala que el diseño es un plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación para responder al planteamiento.

Por otra parte, a nivel experimental, una o más variables independientes son manipuladas intencionalmente con el fin de probar y obtener resultados.

Una acepción particular de experimento, más armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes, dentro de una situación de control para el investigador. (Hernández et al., 2014, p.129).

Considerando lo vertido, para obtener la información necesario para los objetivos del presente estudio, se siguió la siguiente metodología.

Construcción del sistema de recirculación de agua gris para abastecimiento de descarga de inodoros a escala real

Se analizó el funcionamiento y operación del sistema actual de producción de agua gris en lavado de ropa y descarga de inodoro dentro de la vivienda, en adelante, sistema convencional, cuyo diagrama de bloques se presenta a continuación

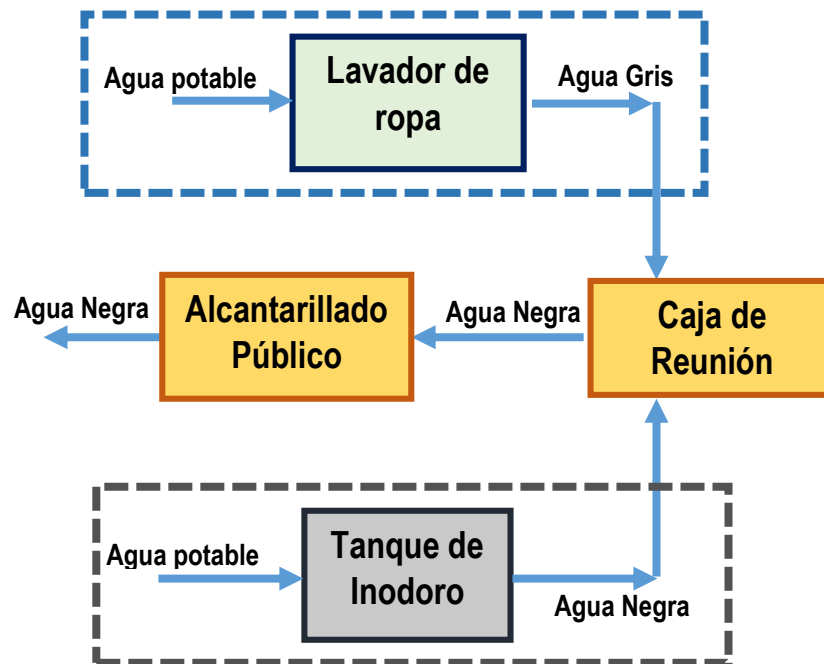


Figura 4. Diagrama de bloques de producción de agua gris y consumo de tanque de inodoro en sistema convencional.

De lo anterior, se advirtió dos procesos independientes, por un lado la producción de agua gris por lavado de ropa y por otro la descarga de tanque de inodoros, donde preliminarmente en base a revisión de antecedentes y bibliografía se determinó que los volúmenes producidos de lavado de ropa eran similares a los volúmenes de descarga en inodoros, que sirvió para establecer una propuesta viable desde el punto de vista conceptual.

Seguidamente, se analizó y planteó una propuesta conceptual de modificación del sistema convencional, en base a una revisión bibliográfica de estudios, proyectos y propuestas pilotos de sistemas de recirculación y reúso de agua gris a nivel domiciliario,

para el caso del presente estudio se diseñó en forma conceptual, un sistema de producción de agua gris en lavado de ropa y recirculación para descarga (consumo) de inodoro dentro de la vivienda, en adelante, sistema de recirculación de agua gris, cuyo diagrama de bloques se presenta a continuación.

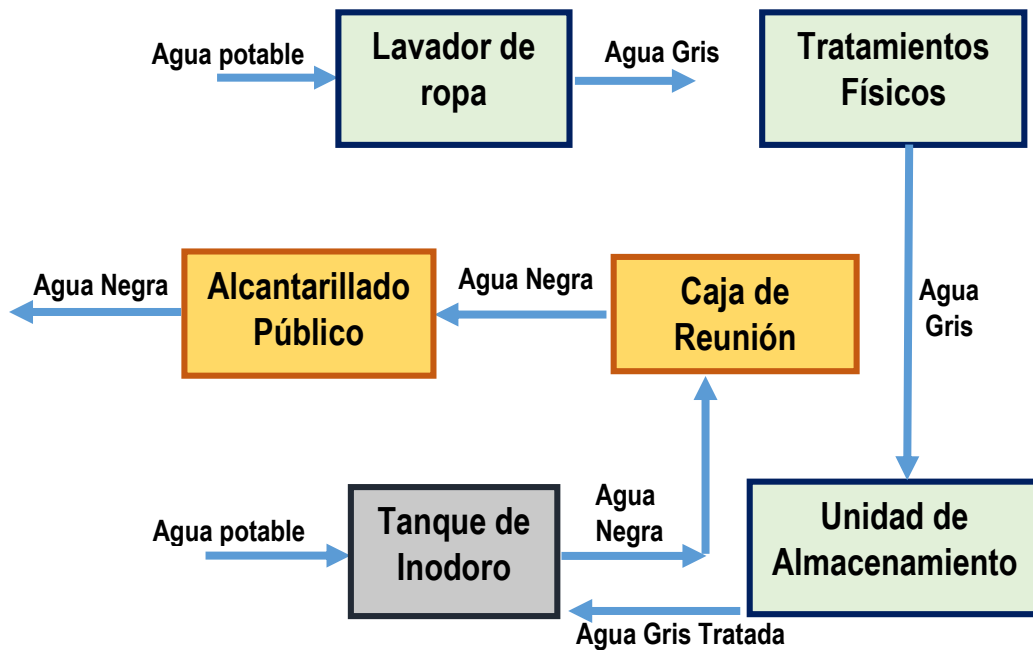


Figura 5. Diagrama de bloques de producción de agua gris y consumo de tanque de inodoro en sistema de recirculación de agua gris para descarga de inodoro.

Sobre la base de la definición conceptual anterior, se procedió a establecer un esquema tentativo del sistema de recirculación de agua gris, considerando los diversos componentes necesarios para la modificación del sistema convencional y su adecuación y construcción del sistema de recirculación de agua gris que funcione en condiciones normales durante su puesta en marcha y permita la toma de información de la dinámica de producción y consumo de agua gris en el domicilio, sin alterar las condiciones vivenciales consideradas normales para los habitantes que ocupan la vivienda.

Seguidamente se procedió a la puesta en marcha y funcionamiento del sistema de recirculación de agua gris, realizando ajustes operativos necesarios para su funcionamiento.

Medición de producción de agua gris y consumo de agua gris y potable en situación de operación del sistema de recirculación de agua gris construido

Luego, sobre el sistema de recirculación de agua gris construido, se procedió a realizar la medición y levantamiento de información de los volúmenes diarios de producción de agua gris y consumo en tanque de inodoro.

Medición de producción de agua gris

Para su medición, se estableció una escala de volúmenes para diferentes profundidades dentro de la poza de enjuague de lavatorio de ropa, tal como se muestra a continuación.



Figura 6. Escala de medición para correspondencia con volumen de producción de agua gris en lavatorio de ropa.

Dentro del lavatorio, cada escala de medida de la regla fijada tenia correspondencia con un volumen generado en cada enjuague, cuya escala y equivalencia en volumen fijado se muestra a continuación.

Tabla 7. *Escala de medición en poza de lavatorio de lavado de ropa y su correspondencia con el volumen de agua gris generado*

Escala de regla (cm)	Volumen agua gris (litros)
0	4
1,5	6
2,8	8
4,1	10
5,45	12
6,8	14
8,1	16
9,4	18
10,75	20
12	22

Fuente: Elaboración propia

Medición de consumo de agua gris y potable

En primer lugar se verifico mediante varias mediciones, el volumen consumido del tanque de inodoro en una operación de descarga, que correspondió para el estudio de 4,8 litros concordante a lo especificado por el fabricante del aparato sanitario.

Seguidamente, para la medición del consumo, se registró cada operación de descarga en un formato de datos en forma diaria, haciendo diferencia, en caso corresponda a consumo de agua gris o potable, al respecto, se debe precisar que el tanque de inodoro se abasteció inicialmente con agua gris hasta su agotamiento, posteriormente, en caso de no contarse con agua gris, se apertura la llave de control de paso de agua potable para su uso, registrando igualmente cada operación de descarga, hasta que se tenga nuevamente la disponibilidad de agua gris y continuar con la medición correspondiente.

Es necesario precisar que la medición se realizó para dos escenarios, con la operación del sistema para 1 y 2 habitantes, respectivamente.

La medición se realizó durante un lapso de tiempo de 140 días continuos, que representa el 38,9% de la población, lapso de tiempo estadísticamente representativo para establecer la dinámica de producción y consumo de agua gris a través del tiempo.

3. Variables de la investigación

3.1 Variable predictoria

Recirculación de agua gris a nivel domiciliario

3.1.1 Dimensiones

- * Uso eficiente del agua potable distribuida a nivel domiciliario.
- * Diseño de las instalaciones de forma separada para captar y aprovechar las aguas grises.
- * Volumen de producción y recirculación de agua gris.

3.2 Variable criterio

Abastecimiento de descarga de inodoro en una construcción a escala real

3.2.1 Dimensiones

- * Costo de agua potable.
- * Demanda (consumo) de agua gris a nivel domiciliario, en la descarga de inodoros.

CAPÍTULO IV

Resultados y discusión

La construcción piloto de un sistema de recirculación de agua gris de forma separada con la medición con un registro sistemático, válido y confiable de los datos necesarios, correspondiente a la cuantificación del volumen producido de agua gris y el consumo en el abastecimiento en descarga de inodoro, se puede contrastar que las variables: recirculación (producción) de agua gris a nivel domiciliario tienen incidencia directa con el abastecimiento de descarga de inodoro en una construcción a escala real, por tanto es necesario evaluar los parámetros operativos de producción-consumo de agua gris en el tiempo (análisis dinámico) en un sistema de recirculación de agua gris para su uso en descarga de inodoro en una construcción piloto a nivel domiciliario a escala real.

El estudio aporta nuevos conocimientos en el tema de reúso de agua, que conlleven a nuevas alternativas para uso eficiente de agua potable a nivel domiciliario, con beneficios en lo social, económico, técnico y ambiental, por ejemplo mayor cobertura a nuevos usuarios, ahorro monetario en servicio de agua potable, menores costos de potabilización y tratamiento de aguas residuales, menores cargas contaminantes sobre cuerpos receptores, etc.

1. Construcción de un sistema de recirculación de agua gris, de forma separada para captar y aprovechar las aguas grises

Según lo señalado por Espinal et al. (2014, p.27) una instalación de forma separada para captar y aprovechar las aguas grises, contempla básicamente las etapas de: pre-

recolección, filtrado, almacenamiento y distribución; propuesta considerada en su aspecto conceptual y modificada para el sistema construido considerando el criterio de bajo costo sin uso de energía eléctrica, cuyo diagrama de procesos se muestra a continuación.

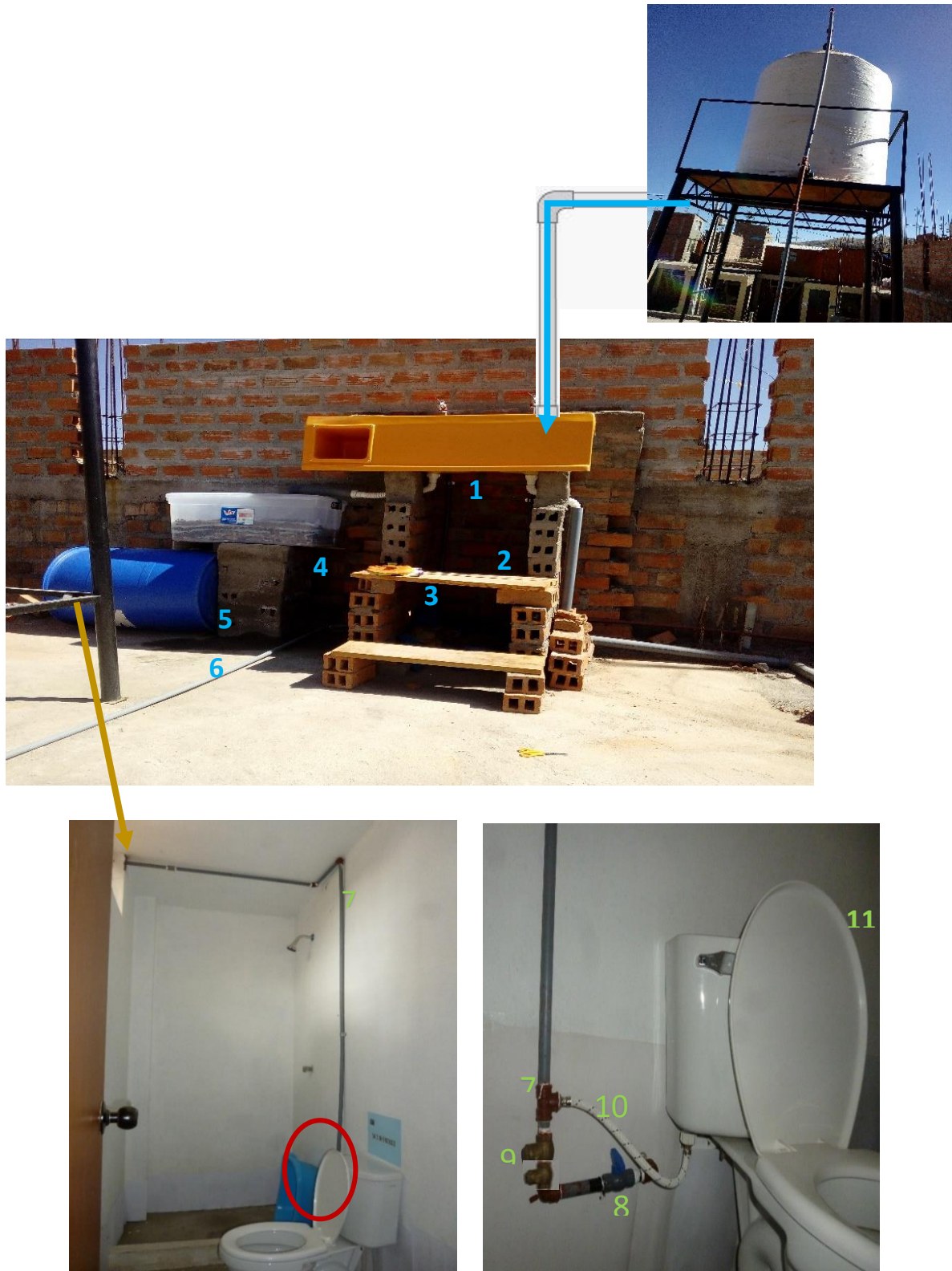


Figura 7. Diagrama de proceso del sistema de recirculación de agua gris construido.

El sistema de recirculación de aguas grises construido contempla los siguientes componentes:

Tabla 8. Componentes de sistema de recirculación de agua gris

Componente	Descripción
7.a Captación de agua gris	1. Lavatorio de 2 pozas 2. Sumidero con mallas de 1mm de abertura 3. Tubería PVC de conexión de captación a filtro de arena.
7.b Filtración	4. Filtro de arena 5. Tubería PVC de conexión de filtro de arena a tanque de almacenamiento.
7.c Almacenamiento	6. Tanque de almacenamiento de polipropileno para agua gris tratada.
7.d Distribución	7. Tubería PVC y accesorios de conexión entre el tanque de almacenamiento e inodoro 8. Válvula de paso 9. Válvula check o retención, controlador de la dirección de entrada y salida de agua gris
7.e Aparato sanitario	10. Tubo de abasto (chicote) que canaliza el agua gris o agua potable al inodoro. 11. Inodoro Rapid Jet de 4.8 litros de descarga

Fuente: Elaboración propia.

Con tales componentes se ejecutó en una vivienda unifamiliar que tiene un dimensionamiento de forma lineal de 9m aproximadamente, con el fin de aprovechar de manera eficiente el agua potable distribuida por la empresa prestadora de servicios (EPS), y ampliar la disponibilidad de este líquido indispensable para más usuarios y reducir costos de potabilización entre otros.

Funcionamiento del sistema de recirculación de agua gris para abastecimiento en inodoro

El punto de producción de agua gris corresponde al lavatorio de ropa, donde seguidamente este volumen circula hacia una unidad de filtro de arena que retiene sólidos y otros residuos, posteriormente, el líquido tratado se almacena en un tanque de almacenamiento construido con material reciclado, desde donde a través de una tubería de distribución se alimenta el tanque del inodoro para su consumo en una descarga.

Al respecto, es necesario indicar que mediante la aplicación de un sistema de instalación de forma separada para captar y aprovechar las aguas grises con abastecimiento por gravedad, nos permite prevenir el uso de energía eléctrica para bombeo y por consiguiente hace que sea una alternativa de bajo costo.

Descripción de componentes del sistema de recirculación de agua gris

A continuación se describen los principales componentes del sistema de recirculación de agua gris construido.

7.a.- Captación de agua gris

Comprende el sistema de recolección de agua gris a través de un lavatorio de dos pozas, que constituye el primer tratamiento físico y un sumidero con mallas de 1mm de abertura, que corresponde al segundo tratamiento físico de retención de sólidos y pelusas, que se describe a continuación.

Lavatorio de 2 pozas y sumidero

Constituye la estructura de captación del agua gris producida por la actividad de lavado de ropa, donde el nivel de fondo de poza es 1,15 m en relación al piso del techo, con una

altura máxima de carga hidráulica de 1,40 m desde el nivel de piso terminado de techo. La segunda poza se instaló para enjuagar la ropa y esa agua gris (gris clara) corresponde al agua producida, que evacua mediante el sumidero construido de malla galvanizada de 1mm de abertura al filtro, cuya función es retener las pelusas y/o sólidos que se desprenden de la ropa, aspecto considerado por Niño (2013), esta fase es importante para la calidad y apariencia del agua gris. (Franco, 2007).

7.b.- Filtración

Esta etapa comprende la retención de partículas y sólidos que pasaron al primer y segundo tratamiento, construido para evitar el taponamiento y obstrucciones en tuberías de distribución del agua gris hacia el tanque del inodoro, es el tercer tratamiento físico del agua gris, está compuesto por un filtro de arena, que se describe a continuación.

Filtro de arena

La estructura de filtro es de grava y arena, su contenedor es de material plástico, con una capacidad máxima de volumen de agua de 92 litros, tiene un carga hidráulica máxima prevista de 0,95 m, la altura de relleno de grava y arena en el filtro es de 0,18 m, su tiempo de retención hidráulica es de 10 minutos cabe indicar que este valor aumentara con el transcurso del tiempo por obstrucciones y taponamiento, que es indicador para realizar las labores de mantenimiento y limpieza.

A continuación se presentan las características de granulometría del material de filtro de arena y grava instalado en 5 capas.

Tabla 9. Características del contenido del filtro de grava y arena

N° DE TAMICES (Pulg.)		Cantidad de grava y arena para el filtro (m ³)
Que pasó	Retenido	
1"	3/4"	0.009
1/2"	3/8"	0.009
1/4"	N° 4	0.005
N° 10	N° 16	0.003
N° 16	N° 20	0.0015

Fuente: Elaboración propia.

7.c.- Almacenamiento

En el presente estudio, uno de los aspectos primordiales para cumplir con el suministro de agua gris producida a la demanda del tanque de inodoro, es su almacenamiento, por lo que se construyó un tanque de polipropileno reciclado, que se describe a continuación.

Tanque de almacenamiento de agua gris

Es necesario aclarar que el tanque de almacenamiento de agua gris, al contener agua no potable, podría utilizarse un envase o contenedor reciclado, que conlleva considerables beneficios ambientales en cuanto a ahorro de materias primas, energía, agua y reducción de emisiones de efecto invernadero, tal como el empleado en el sistema de recirculación de agua gris construido para el estudio realizado.

El volumen máximo de almacenamiento es de 70 galones, es decir 264 litros de capacidad máxima, la carga hidráulica máxima prevista entre el nivel máximo del tanque y el nivel de inodoro a volumen lleno es de 3,09 m; asimismo, la carga hidráulica más crítica corresponde a un nivel de líquido mínimo en el tanque y su valor es de 2,00 m de columna considerando las pérdidas del sistema; al respecto, la carga hidráulica estática en operación fue suficiente para dotar de agua gris producida al tanque de inodoro.

7.d.- Distribución

Comprende el sistema de instalación de tuberías que enlazan las redes de alimentación proveniente del tanque de almacenamiento y distribución en el ambiente donde se encuentran localizado los aparatos sanitarios, para el estudio corresponde al tanque de inodoro, a continuación se describe las tuberías y accesorios que conforman este sistema.

Válvula de paso.- Se instaló para evitar la mezcla entre aguas grises producidas con agua potable, es decir, permite que el agua circule en sentido desde la alimentación de agua gris hacia el tanque del inodoro, y evita el retorno de agua potable hacia el tanque de almacenamiento de agua gris.

Válvula de retención o Check: Instalado con el propósito de cerrar o separar el agua potable del agua gris, es decir es el control o paso de agua potable para abastecimiento al tanque de inodoro en caso de no contar con agua gris producida, asimismo, evita el retorno de agua potable al tanque de almacenamiento de agua gris producida, en casos en que se tenga abierta la válvula de paso que controla el flujo de agua potable.

7.e.- Aparato sanitario

Comprende los aparatos sanitarios y sus accesorios a los que se abastece el agua gris producida; sirven para realizar las actividades higiénicas propios de los habitantes en una vivienda, en el estudio comprende la tubería de abasto y el inodoro de tanque Rapid Jet, es necesario precisar que para su buen estado y funcionamiento eficaz, se deberá de realizar el mantenimiento del tratamiento físico del sistema de recirculación de agua gris.

Tubería de abasto (Chicote) e inodoro.- La tubería de abasto se instaló como alimentador común de agua gris producida y agua potable, que previamente cuenta con

un accesorio PVC “Tee”, donde por un lado viene la distribución de agua gris y por el otro el agua potable, cuya salida está unida al tubo de abasto que sirve para abastecer el agua gris o potable al tanque de inodoro. Por otra parte, el inodoro es del tipo Rapid Jet con una capacidad de descarga de 4,8 litros.

Por otro lado, para fines de un óptimo funcionamiento del sistema construido, se puede advertir algunas consideraciones básicas para el proceso de mantenimiento al transcurrir el tiempo de uso, que se describe a continuación.

Mantenimiento del tratamiento físico del sistema de recirculación de agua gris

En una vivienda, la calidad de las aguas grises después del tratamiento debe apuntar a salvaguardar la salud de los usuarios, 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, por lo que se indica algunas guías generales para el mantenimiento y operación óptima de un sistema de tratamiento de aguas grises.

Tabla 10. *Recomendaciones de mantenimiento de un sistema de tratamiento físico de aguas grises*

Componente	Mantenimiento	Frecuencia
Filtro	Limpieza de filtro	Semestralmente
Filtro	Reemplazo de filtro	Cada 12 – 18 meses

Fuente: NSW (2010).

Desde un perspectiva general, debe de mencionarse que el uso masivo de sistema de recirculación de aguas grises podría provocar una reducción en la magnitud de flujo mínimos para con el inodoro, en el proceso del tiramiento podrían sedimentarse los sólidos suspendidos los cuales serán eliminado a través de la limpieza y/o reemplazo del filtro, para de esa manera seguir garantizando su funcionamiento eficiente del sistema.

A continuación, a fin de evitar riesgos sanitarios en cuanto al uso de aguas grises, se construyó para el sistema de recirculación de agua gris, tratamientos físicos de bajo costo, que se describen brevemente a continuación.

Primer tratamiento – Eliminación de agua gris oscura de lavado de ropa:

El agua gris producida de la primera operación de lavado de ropa, que tiene apariencia de oscura, es evacuado de manera separada directamente a la red de alcantarillado público, es decir no es parte del volumen de agua gris producida, constituye un primer tratamiento físico para eliminar posibles riesgos de contenido de microorganismos patógenos, así como evitar obstrucciones o inconvenientes en las siguientes instalaciones o unidades del sistema, según mencionado por Niño (2013) y apariencia visual que menciona Franco (2007). Esta separación constituye el primer tratamiento físico.

Al respecto, por comodidad de operación el lavatorio de ropa cuenta con dos posas, de descargas separadas, tal como se muestra a continuación.

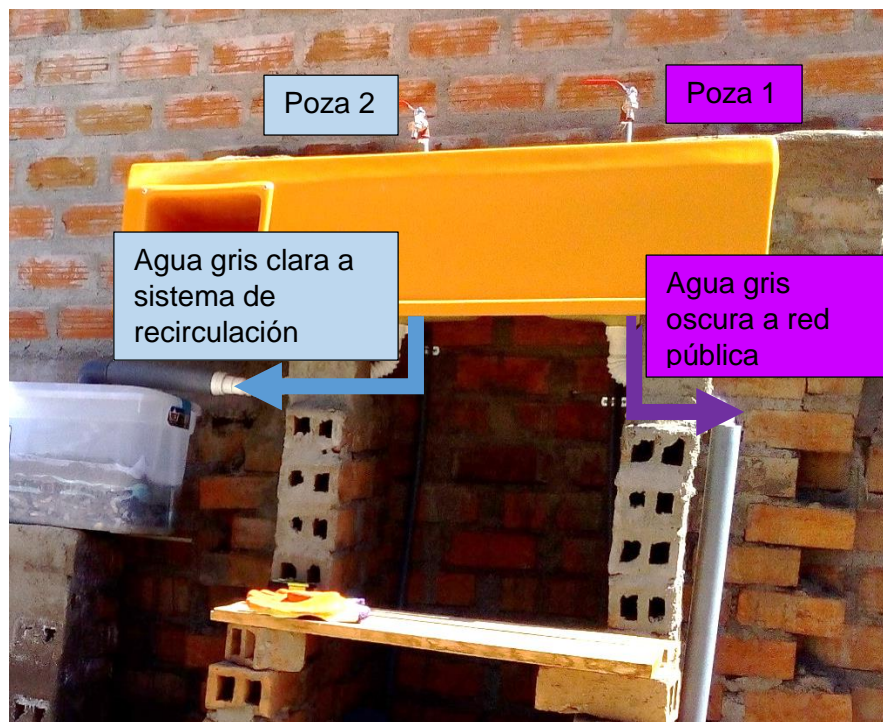


Figura 8. Tratamiento de eliminación de agua gris oscura en sistema de recirculación de agua gris construido.

Segundo tratamiento - Sumidero filtrante:

Seguidamente, luego de que la primera agua gris (agua gris oscura) es evacuada directamente a la red de alcantarillado público; las aguas grises producidas con posterioridad por la actividad propia de sucesivos enjuagues de ropa, previo a la canalización, al filtro de arena, en la salida del sumidero del lavatorio, se instaló rejillas filtrantes (sumidero) para retener los residuos sólidos y pelusas.

Tercer tratamiento - Filtración:

Posteriormente, en esta fase el agua gris pasa a través de filtros porosos de grava y arena que atrapan las partículas sólidas disueltas en el agua, luego el agua gris tratada se canalizo a un tanque de almacenamiento de agua gris para su distribución al tanque de inodoro.



Figura 9. Cribado, lavado e instalación de filtro de arena para sistema de recirculación de agua gris construido.

Es necesario precisar que durante el tiempo de observación de la operación del sistema de recirculación de agua gris, no se registró problemas de sedimentación o taponamiento por presencia de materia orgánica, aspecto destacado por Niño (2013) quien indica que las aguas grises son aguas con un bajo nivel de contaminantes y casi ausencia de productos orgánicos, por lo cual puede ser reutilizada en las viviendas para limpieza, uso en el sanitario y riego.

Asimismo, se debe indicar que para el adecuado uso de este sistema, se consideró en la elección del sistema y sus componentes, aspectos de índole económico y eficiencia de operación, en relación al primero se entiende por la selección de unidades de bajo costo y el segundo, comprende la selección de tratamientos físicos basados en la calidad del agua gris producida y la requerida para su uso (descarga de inodoros) así como la sencillez de su mantenimiento, todo ello a fin de dotarle al sistema de recirculación de agua gris, la factibilidad y potencial de aplicación práctica para el uso eficiente del agua potable.

Por otro lado, a fin de eliminar el riesgo sanitario y atenuar por completo la presencia de patógenos, se sugiere aplicar cloro en el agua gris, en un lapso de 72 horas o en cada producción de agua gris, el mismo en caso requerirse constituye un tratamiento químico de desinfección. Asimismo, es necesario precisar que en el sistema de recirculación contó con la señalización de peligro de “agua no potable”, a fin de evitar algún riesgo por consumo de agua gris eventual.

2. Dinámica de variación de producción y consumo en el sistema de recirculación de agua gris construido.

Luego de realizar los ajustes operativos necesarios se puso en marcha el sistema de recirculación de agua gris construido, y se procedió a la medición de la producción y consumo diario de agua gris, según el procedimiento descrito en la metodología.

Producción de agua gris

Se establece la Dotación de Producción de Agua Gris (DPAG), para cuya estimación se emplea la siguiente relación:

$$DPAG = \frac{\text{Producción}}{\text{Días} * \text{Habitantes}}$$

Donde:

DPAG : Dotación de Producción de Agua Gris Producida en L/hab/d.

Producción : Volumen total medida de agua gris producida por lavado de ropa en litros.

Días : Cantidad de días transcurridos de medición de agua gris producida.

Habitantes : Número de habitantes que genera el agua gris producida.

Por consiguiente, se determinó la DPAG sobre la base de las mediciones efectuadas para dos escenarios, cuyos resultados se muestran a continuación.

Tabla 11. Registro de dotación de producción de agua gris

Escenario 1		Escenario 2	
Calculo para 1 habitante		Calculo para 2 habitantes	
Nº de días medidos	91	Nº de días medidos	49
Cantidad de agua gris (L)	1,561	Cantidad de agua gris (L)	1,237
Nº de habitantes	1	Nº de habitantes	2
DPAG (L/hab/d)	17.2	DPAG (L/hab/d)	12.6
Promedio de DPAG (L/hab/d)		15	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se puede advertir que el valor de DPGA medido para un habitante resulta mayor que para dos habitantes, se debería a que el lavado de ropas y atuendos comunes (manteles de mesa, colchas, sábanas, etc.), se efectúa una sola vez por ambas personas, asimismo se debería a que existe diferencias en usos y costumbres entre habitantes en un domicilio, es decir, uno lava más que el otro.

El promedio de la DPGA medido es de 15 L/hab/d, que si lo comparamos con la dotación promedio diario anual por habitante para consumo humano establecida por el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS.100 Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria, que establece para clima frío una dotación de 180 L/hab/d, representa el 8,3% del mismo, por otra parte, según el informe de Memoria Anual 2015 de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Juliaca, EPS SEDA Juliaca, el estimado de dotación promedio diario anual es de 141,6 L/hab/d (10 641 358 m³ producción de agua potable y población servida de 205 848 habitantes, año 2015), que representa el 10,5% de dicha dotación.

De lo anterior, si estimamos la reducción en la producción de agua potable por parte de la EPS SEDA Juliaca por el reúso de agua gris a nivel domiciliario con el resultado de la investigación, el ahorro correspondería a 1 117 343 m³ por año que podría abastecer a 21 614 habitantes o nuevos usuarios del servicio.

Por otro lado, Kestler (2004), presenta una estimación de la descarga promedio proveniente de lavado de ropa de 19 L/hab/d, valor próximo al 15 L/hab/d en promedio obtenido de la medición en el estudio, siendo el valor de la DPGA de 17,2 L/hab/d del escenario 1, el más próximo a esta estimación, por consiguiente, es bastante razonable asumir que la dotación de producción promedio de agua gris proveniente de lavado de ropa para el caso de la ciudad de Juliaca este dentro del orden de esta medida.

Por otro lado, si bien es cierto que la DPAG medido es promedio, su generación no es uniforme, tal como se aprecia a continuación para ambos escenarios.

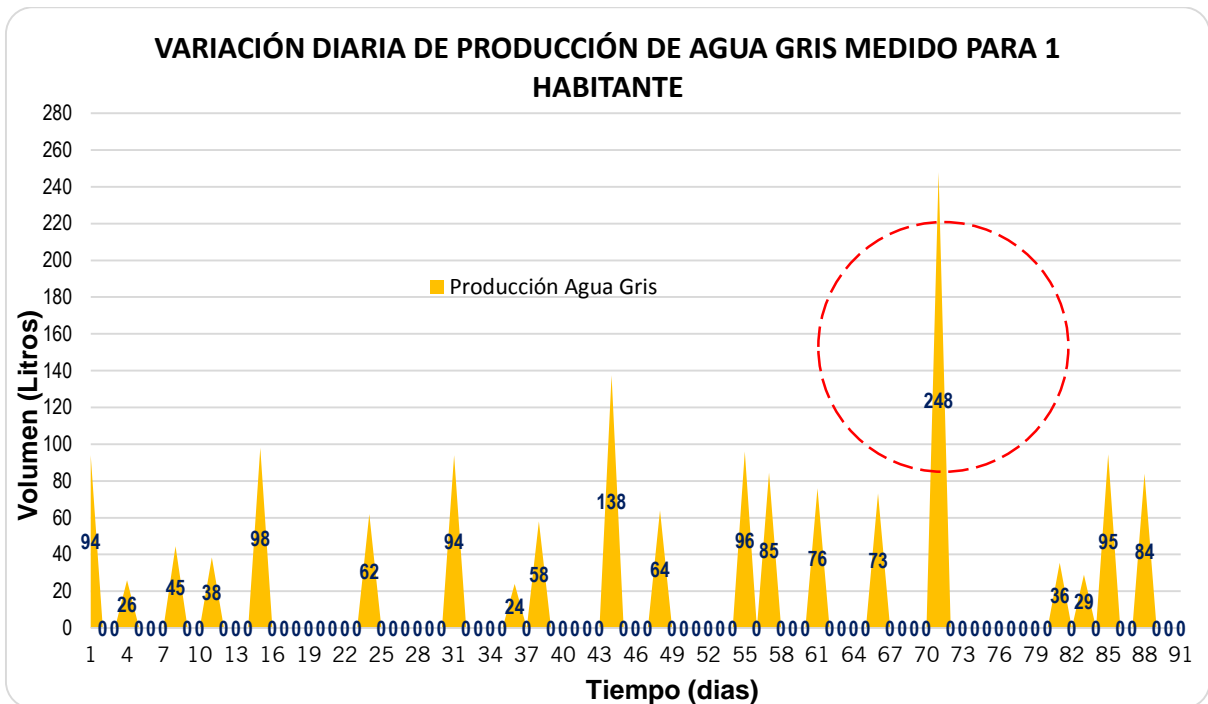


Figura 10. Variación diaria de producción de agua gris medido para escenario de 1 habitante.

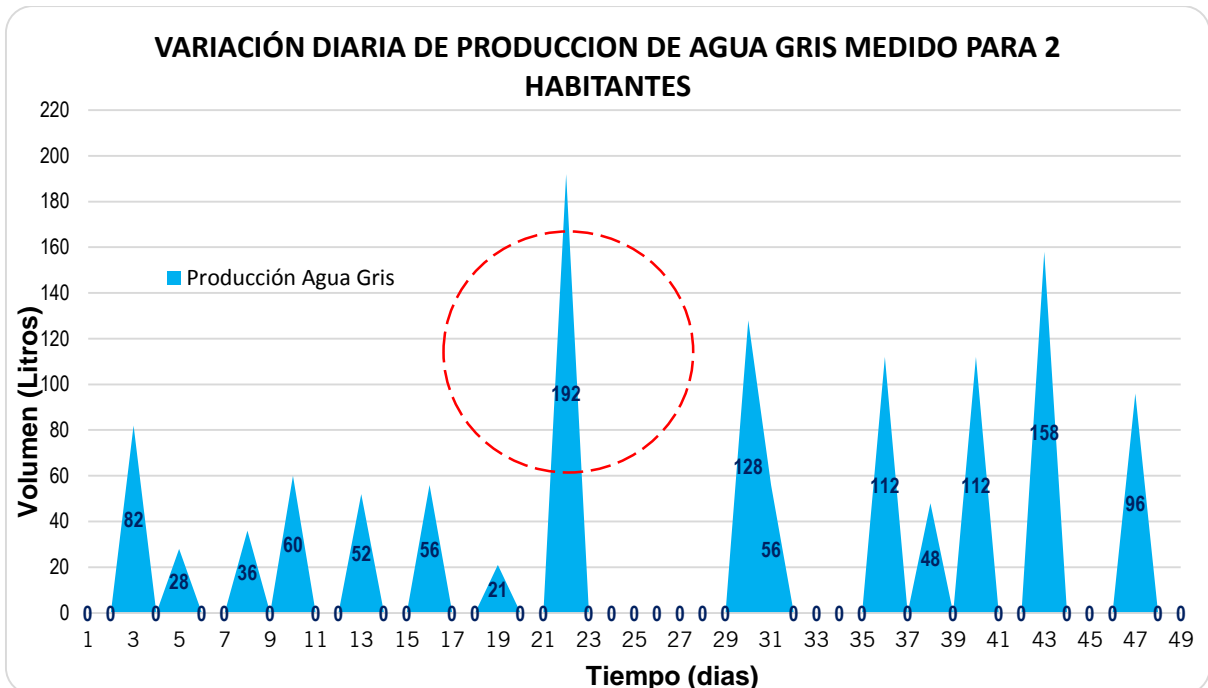


Figura 11. Variación diaria de producción de agua gris medido para escenario de 2 habitantes.

De la comparación de medición de producción de agua gris para ambos escenarios, se advierte el mayor volumen pico es de 248 L por día en el escenario de 1 habitante, en comparación al escenario de 2 habitantes que registro un volumen pico de 192 L por día; por consiguiente, este valor máximo se utiliza para la determinación de la capacidad de diseño en volumen del tanque de almacenamiento de agua gris.

Por otra parte, de la dinámica de producción de agua gris, se advierte que el lapso máximo de tiempo entre una producción a otra es de 7 días para ambos escenarios, que indica que en la situación más desfavorable existe al menos una oportunidad a la semana en la que se da la producción de agua gris, con la consiguiente posibilidad de condiciones favorables para la continuidad en el abastecimiento para el consumo del inodoro.

Consumo de agua gris

Se establece la dotación de consumo de agua gris (DCAG), para cuya estimación se adaptó para el estudio considerando el consumo de agua gris y potable en conjunto como la dotación de consumo requerida para abastecer el tanque de inodoro, para cuyo cálculo se emplea la siguiente relación:

$$DCAG = \frac{\text{Consumo}}{\text{Días} * \text{Habitantes}}$$

Donde:

DCAG : Dotación de Consumo de Agua Gris requerida en L/hab/d.

Consumo : Volumen total medida de consumo de inodoro (Agua gris + potable) en Litros.

Días : Cantidad de días transcurridos de medición de consumos de agua gris y potable.

Habitantes : Número de habitantes que utilizan el agua gris y potable en la descarga del inodoro.

A continuación, con la relación presentada, se determinó la DCAG requerida para el abastecimiento el inodoro del estudio, sobre la base de las mediciones efectuadas para dos escenarios, cuyos resultados se muestran a continuación.

Tabla 12. Registro de dotación de consumo de agua gris

Escenario 1		Escenario 2	
Calculo para 1 habitante		Calculo para 2 habitantes	
N° de días medidos	91	N° de días medidos	49
	1,69		1,51
Cantidad de agua gris (L)	6	Cantidad de agua gris (L)	2
N° de habitantes	1	N° de habitantes	2
DCAG (L/hab/d)	18.6	DCAG (L/hab/d)	15.4
Promedio de DCAG (L/hab/d)		17	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se puede advertir que el valor de DCGA medido para un habitante resulta mayor que para dos habitantes, se debería principalmente a diferencias en usos y costumbres entre habitantes en un domicilio, al respecto, Franco, (2007) aclara que los porcentajes de composición de aguas servidas, (dentro del cual está incluida el agua gris) según su origen varían según el lugar, el ingreso económico, las costumbres, el clima, la época del año, entre otros; aclarándose que esta dotación corresponde al consumo del tanque del inodoro, sin distinguir entre agua gris y potable.

En relación a lo anterior, Kestler (2004), presenta una estimación de la demanda promedio para descarga de inodoros (heces y orina) de 20 L/hab/d, valor que se aproxima bastante al 17 L/hab/d en promedio obtenido de la medición en el estudio, siendo el valor de la DCGA de 18,6 L/hab/d del escenario 1, el más próximo a esta estimación, por consiguiente, es bastante razonable asumir que la dotación de consumo promedio para descarga de inodoros de la ciudad de Juliaca esta en este orden de valor.

En relación a la distribución por uso de agua potable en el hogar en L/hab./día, Llanos (2013) indica que en la actividad de lavado de ropa se consume en un rango de 6% al

15% en relación al dotación diaria del agua potable, a la vez indica que existen variaciones debidos al clima, la disponibilidad por medio de la red, la época del año, entre otros, al respecto, en el presente estudio el consumo registrado es de 18,6 L/hab/día que representa el 10,33% con relación a la dotación de diseño de 180 L/hab/día indicado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

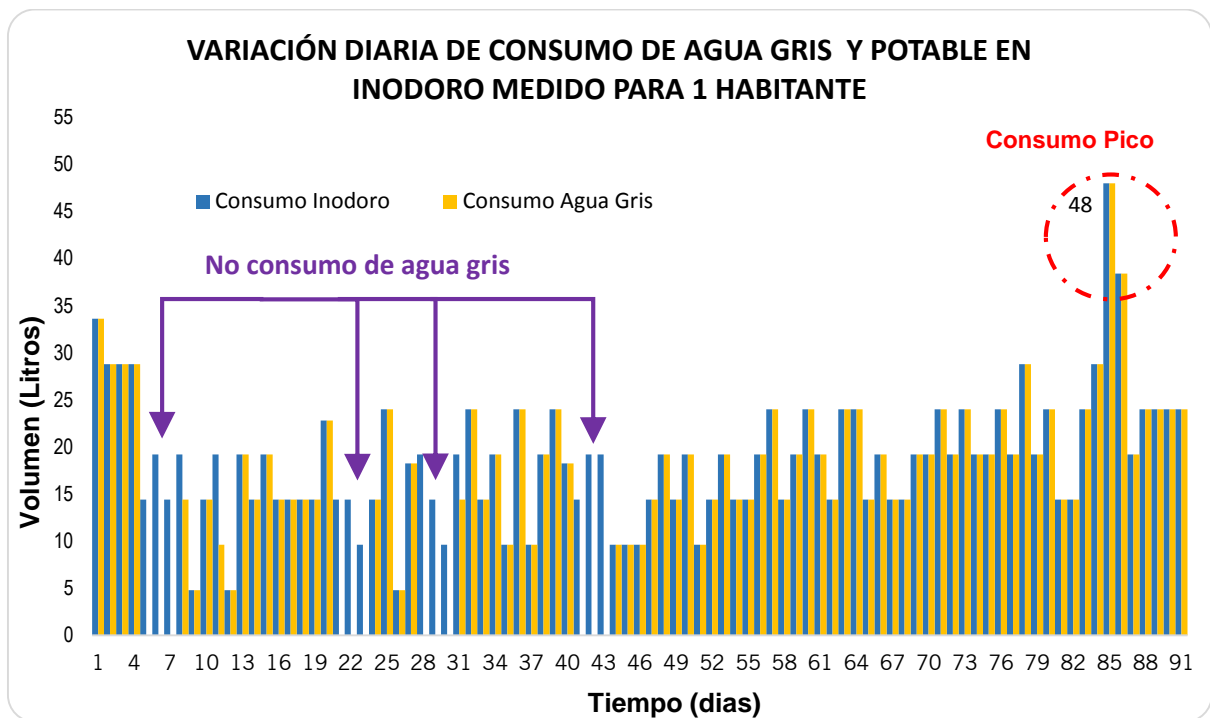


Figura 12. Variación diaria de consumo de agua gris e inodoro medido para escenario de 1 habitante.

Pese a la uniformidad en la variación de consumo diario a lo largo del tiempo, se puede advertir de la figura anterior del escenario de 1 habitante, la existencia de picos de consumo, que puede deberse a eventos extraordinarios, por ejemplo, el incremento temporal del número de habitantes o usuarios, fugas y pérdidas, entre otros; para el caso del estudio se debió a que el número de habitantes en el domicilio se incrementó temporalmente, que conllevó a picos de consumo de agua gris en 2 días consecutivos.

Asimismo, de la operación real del sistema se observa que en cuatro (4) lapsos de tiempo, el agua gris no abasteció el consumo del tanque del inodoro, es decir su abastecimiento se realizó con agua potable, al respecto, en ciertas ocasiones al no ser la

producción completamente continua y uniforme existe la posibilidad de desabastecimiento, por consiguiente, no existe una completa autonomía e independencia del sistema de recirculación de agua gris construido en relación al agua potable, debido a que es necesario dotarle de una cantidad en ciertos periodos de tiempo, aspecto que fue considerado en la construcción de la alimentación del tanque del inodoro por dos vías, tanto del tanque de almacenamiento de agua gris y tanque de agua potable.

A continuación de la revisión de la variación diaria de consumo para el caso del escenario de 2 habitantes, se advierte una mayor uniformidad con el tiempo en comparación a lo registrado para el escenario de 1 habitante, como se aprecia en la Figura 13.

Sin embargo, al igual que en el caso del escenario de 1 habitante, se registró picos de consumo de agua gris, observándose un consumo pico por evento extraordinario (152 L/d), para el caso del estudio se debió a una fuga en la instalación (123 L), hecho común que acontece a nivel domiciliario; sin embargo adicionalmente se observa el denominado pico de consumo normal (58 L/d), que corresponde al valor máximo de consumo en una situación operativa normal.

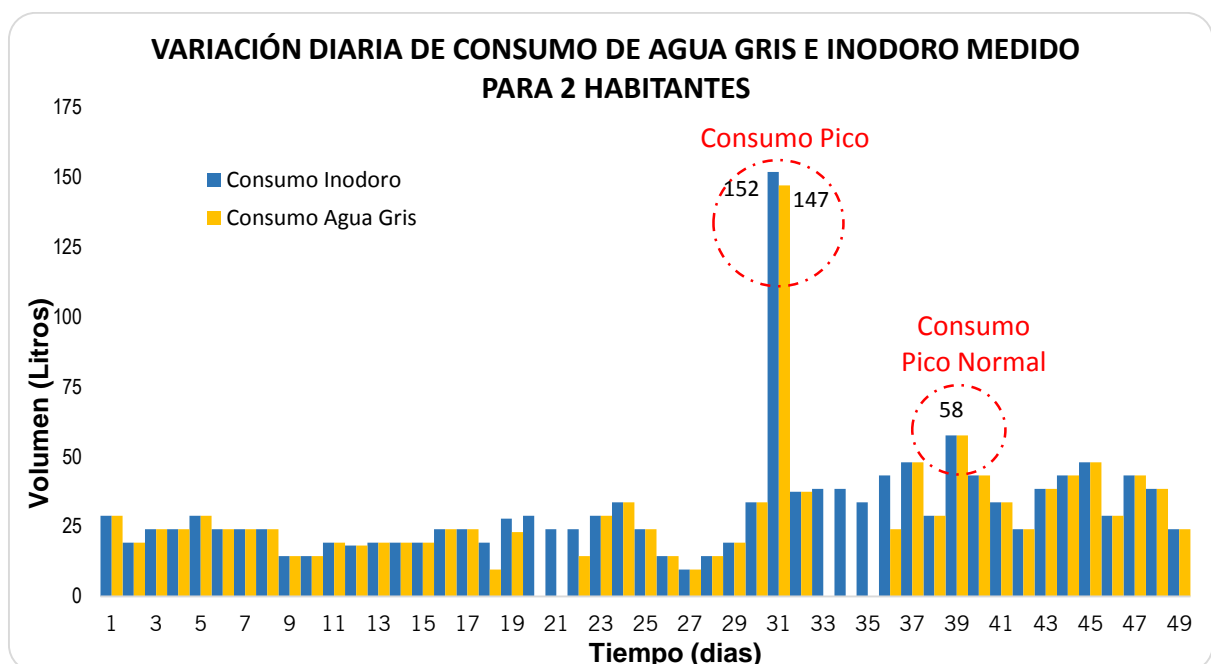


Figura 13. Variación diaria de consumo de agua gris e inodoro medido para escenario de 2 habitantes.

Por otra parte, del análisis de estadística descriptiva, referido a medidas de tendencia central y dispersión, se puede advertir que los parámetros estadísticos para escenarios de 1 y 2 habitantes en relación a la producción y consumo de agua gris, adquieren los valores mostrados a continuación.

Tabla 13. Resultados de parámetros estadísticos para escenarios de 1 y 2 habitantes

Escenario para 1 habitante			
Producción de agua gris (L/d)		Consumo de agua gris (L/d)	
Media	17,2	Media	16,4
Mediana	0	Mediana	18
Moda	0	Moda	14
Desviación estándar	39,8	Desviación estándar	9
Mínimo	0	Mínimo	0
Máximo	248	Máximo	48

Escenario para 2 habitantes			
Producción de agua gris (L/d)		Consumo de agua gris (L/d)	
Media	25,2	Media	26,5
Mediana	0	Mediana	24
Moda	0	Moda	24
Desviación estándar	46.9	Desviación estándar	21.9
Mínimo	0	Mínimo	0
Máximo	192	Máximo	147

Fuente: Elaboración propia.

En relación a lo anterior, se advierte que las medidas de desviación estándar y rango, muestran para el conjunto de datos de producción de agua gris, una alta heterogeneidad, que se explica debido a que no existe una generación homogénea de volúmenes de producción por día, esta tendencia se repite tanto para los escenarios de 1 y 2 habitantes considerados en el estudio.

En relación al consumo de agua gris, se advierte que los parámetros estadísticos de media, mediana y moda, para ambos escenarios de 1 y 2 habitantes, tienden a un valor central, para el caso de escenario de 1 habitante, sus valores son de 16,4 L/d, 18 L/d y 14 L/d respectivamente, mientras que para el escenario de 2 habitantes, sus valores característicos son 26,5 L/d, 24 L/d y 24 L/d respectivamente, por consiguiente, el consumo

de agua gris es relativamente homogéneo durante los días de la semana, que tiene razonabilidad, ya que la demanda del inodoro, tendera a ser poco variable a lo largo de los días con pequeñas fluctuaciones durante el año, sin importar si su abastecimiento es con agua gris o potable.

Asimismo, de los valores de desviación estándar de la media, se advierte que el escenario de 1 habitante, es menos disperso que el escenario de 2 habitantes, por lo tanto, el consumo de agua gris para el escenario de 1 habitante estaría en el rango de $16,4 \text{ L/d} \pm 9 \text{ L/d}$, mientras que para el caso del escenario de 2 habitantes, estaría en el orden de $26,5 \pm 21,9 \text{ L/d}$, valores que muestran poca homogeneidad durante los días de la semana, atribuibles a costumbres y actividades diferentes de los habitantes durante los días de semana.

Dinámica de Producción-Consumo de Agua Gris y Potable

Para el establecimiento de la interrelación entre la producción de agua gris y consumo para el abastecimiento de tanque de inodoro con el tiempo, se presenta una curva acumulada o de doble masa donde se analiza la dinámica entre ambas, que se muestra a continuación.

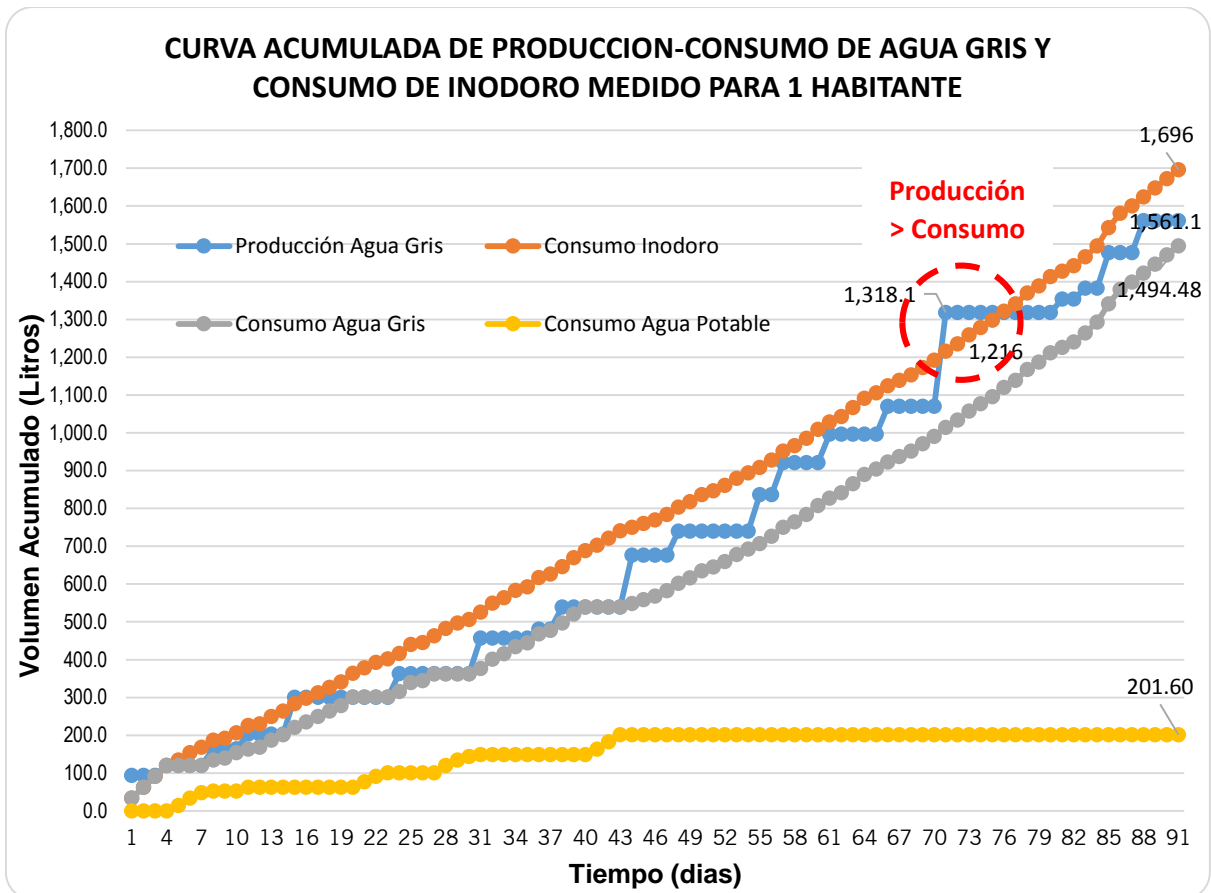


Figura 14. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 1 habitante.

Cabe precisar que la curva de “consumo inodoro”, representa la suma de los volúmenes de agua gris y potable, representados por las curvas “consumo agua gris” + “consumo agua potable”, utilizados para el abastecimiento del tanque del inodoro.

De la figura anterior, se aprecia que tanto la producción de agua gris, curva “producción agua gris” y el consumo del tanque del inodoro, curva “consumo inodoro”, tienen una tendencia de crecimiento, sin embargo, para el caso de la producción se advierte que es discontinuo y sin ninguna relación aparente en relación al tiempo, es decir la producción no tiene patrón conocido, esto se explica en que varían según los usos y costumbres de los habitantes en un domicilio, así como el clima, época del año, entre otros; tal como lo señala, Franco (2007), mientras que para el caso del consumo, se advierte un comportamiento continuo y casi lineal en relación al tiempo.

De la curva de “consumo agua potable” de la figura, se observa que para los primeros 43 días de medición, fue necesario incorporar en ciertos lapsos de tiempo, volúmenes de agua potable por la insuficiencia de la cantidad de agua gris producida, que se debió a la puesta en marcha del sistema de recirculación de aguas gris construido y adaptación del usuario al mismo; posterior a este periodo se puede apreciar que la producción de agua gris abastece completamente el requerimiento de consumo del tanque del inodoro, es decir que el sistema funcionó independientemente de la disponibilidad de agua potable, corroborado con que las curvas “producción agua gris” y “consumo agua gris”, no se traslapan en ningún punto y la primera se mantiene siempre por encima de la segunda.

De la evaluación de la producción-consumo acumulado en el tiempo de medición transcurrido, se registró un volumen acumulado de producción de agua gris de 1561,1 litros y consumo del tanque del inodoro acumulado de 1696 litros, existiendo una diferencia de 134,9 litros; al respecto, en una situación óptima o ideal de operación se tendría un abastecimiento de agua gris para tanque de inodoro de 92%, con una necesidad de agua potable de 8% en situación ideal.

Sin embargo, en situación de operación real se tuvo un gasto de agua potable de 201,6 litros, por consiguiente, el abastecimiento de agua gris para tanque del inodoro alcanza el 88,1%; es decir fue necesario incorporar un 11,9% de agua potable para cubrir el consumo.

De los anteriores, se puede advertir que si bien es cierto en condiciones ideales de producción y consumo se podría alcanzar un abastecimiento del tanque de inodoro del 92% con agua gris, en condición operativa esta se reduce al orden de 88,1%, por consiguiente, en condiciones operativas del sistema de recirculación de agua gris, el volumen de agua potable que debe adicionarse es mayor en relación a lo previsto en condiciones ideales, que demuestra que la producción de agua gris, no necesariamente se dio en la oportunidad de necesidad de abastecimiento del tanque de inodoro, aspecto que en un modelo conceptual, no puede ser advertido.

Por otro lado, de la figura se advierte que en un momento dado, la curva “producción agua gris” está por encima de la curva “consumo inodoro”, que indica que a esa oportunidad el volumen total acumulado de producción de agua gris supero el consumo del tanque del inodoro, es decir se tuvo un 8,4% de agua gris producida en exceso, que equivale a decir que se tuvo un abastecimiento del 100% de agua gris en condiciones ideales sin necesidad de adición de agua potable, sin embargo, en condición operativa real, se advierte que a esa oportunidad, el consumo del tanque del inodoro, alcanzo el 16,6% de agua potable y 83,4% de agua gris.

Del mismo modo, se evaluó la interrelación entre producción de agua gris y consumo para el abastecimiento de tanque de inodoro con tiempo para el escenario de 2 habitantes, para lo cual se traza una curva acumulada o de doble masa, donde se analiza la dinámica entre ambas, que se muestra a continuación.

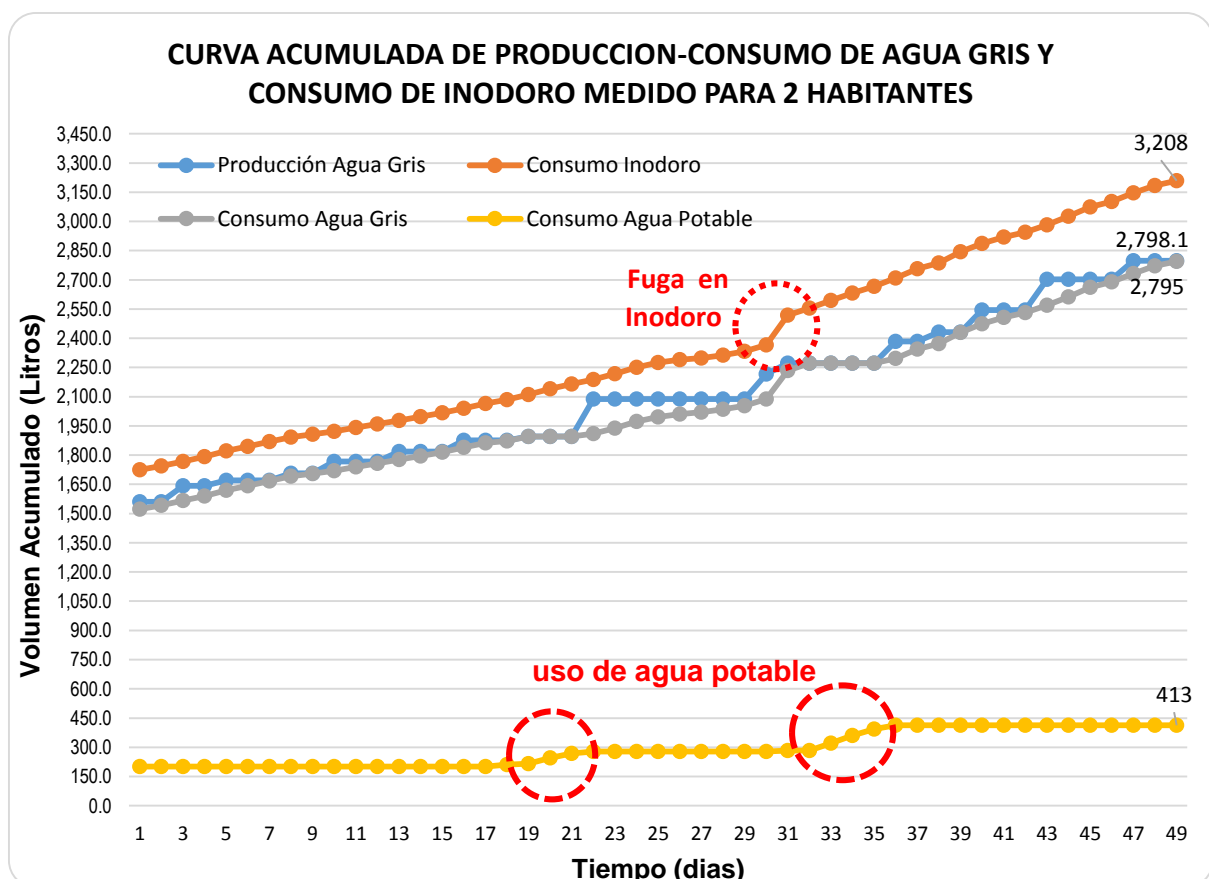


Figura 15. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 2 habitantes.

De la figura anterior, se aprecia que la producción de agua gris, curva “producción agua gris” y consumo del tanque del inodoro, curva “consumo inodoro”, tienen una tendencia de crecimiento, con similares características al escenario de 1 habitante, para el caso de la producción se advierte que es discontinuo y sin ninguna relación aparente en relación al tiempo, no tiene patrón conocido, mientras que para el caso del consumo, se advierte un comportamiento continuo y casi lineal con el tiempo, con una ruptura o desfase, debido a un evento extraordinario, para el caso del estudio se debió a una fuga o pérdida de agua gris del inodoro.

De la curva de “consumo agua potable” de la figura, se observa dos lapsos de tiempo donde se incorporó agua potable, por la insuficiencia de la cantidad de agua gris producida; sin embargo, se observa que el abastecimiento de consumo del tanque de inodoro ha sido en mayor tiempo por la producción de agua gris, es decir que el sistema funcionó en mayor tiempo independientemente de la disponibilidad de agua potable, corroborado con que las curvas “producción agua gris” y “consumo agua gris”, se traslapan en solo dos tramos y la primera se mantiene en mayor tiempo por encima de la segunda.

De la evaluación de la producción-consumo acumulado en el tiempo de medición transcurrido considerando la incidencia del escenario de 1 habitante, es decir análisis continuado, se registró un volumen acumulado de producción de agua gris de 2 798,1 litros y consumo del tanque de inodoro acumulado de 3 208 litros, existiendo una diferencia de 409,9 litros; al respecto, en una situación óptima de operación se tendría un abastecimiento de agua gris para tanque de inodoro de 87,2%, con una necesidad de agua potable de 12,8% en situación ideal.

En relación a lo anterior, en la situación de operación real se tuvo un gasto de agua potable de 413 litros, por consiguiente, el abastecimiento de agua gris para tanque de inodoro alcanza el 87,1%; es decir fue necesario incorporar un 12,9% de agua potable para cubrir el consumo.

De los anteriores, el análisis considera la incidencia del escenario de 1 habitante, al respecto, si nos ceñimos a la dinámica de producción y consumo para el escenario de 2 habitantes, quitando el efecto acumulado del escenario 1, se grafica la curva acumulada o doble masa, que se muestra a continuación.

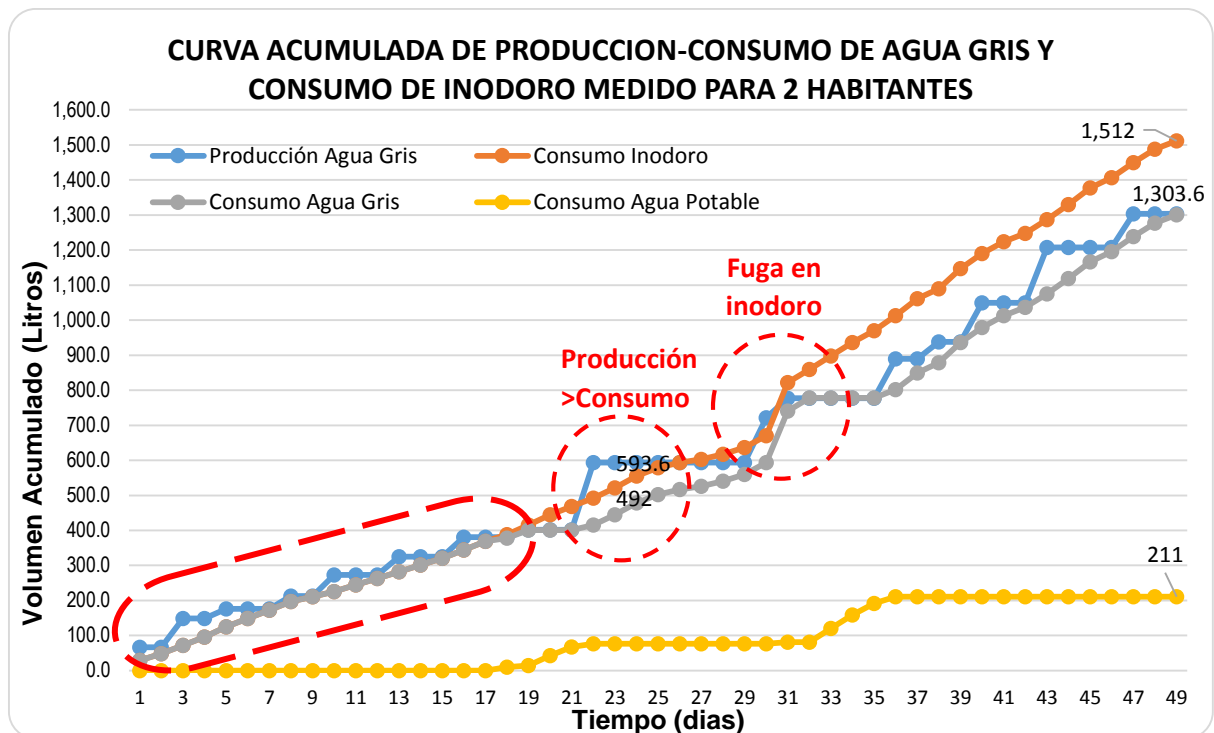


Figura 16. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 2 habitantes sin incidencia del escenario de 1 habitante.

Del análisis separado del escenario de 2 habitantes, se muestra una zona donde la producción de agua gris acumulada a esa oportunidad supera al consumo del tanque de inodoro, sin embargo, en días anteriores se registra un consumo de agua potable por insuficiente cantidad de agua gris producido.

Por otra parte se puede advertir que dentro de los primeros 18 días de medición para este escenario, se tiene un abastecimiento continuo del tanque de inodoro con el agua gris producida, es decir durante este periodo de tiempo el sistema de recirculación de agua gris opero con independencia del agua potable.

Al respecto, en esta condición de producción y consumo se alcanza un abastecimiento del tanque de inodoro del 86,2% con agua gris en condiciones ideales, que estimado para la situación de operación real donde se utilizó 211 litros de agua potable, se tiene un abastecimiento de 86% de agua gris y 14% de agua potable para cubrir el consumo de tanque de inodoro.

De otro lado, si a lo anterior le quitamos el efecto de la fuga o pérdida ocurrida en el inodoro (evento extraordinario), se tiene una variación considerable en el comportamiento tanto de la producción y consumo, tal como se muestra a continuación.

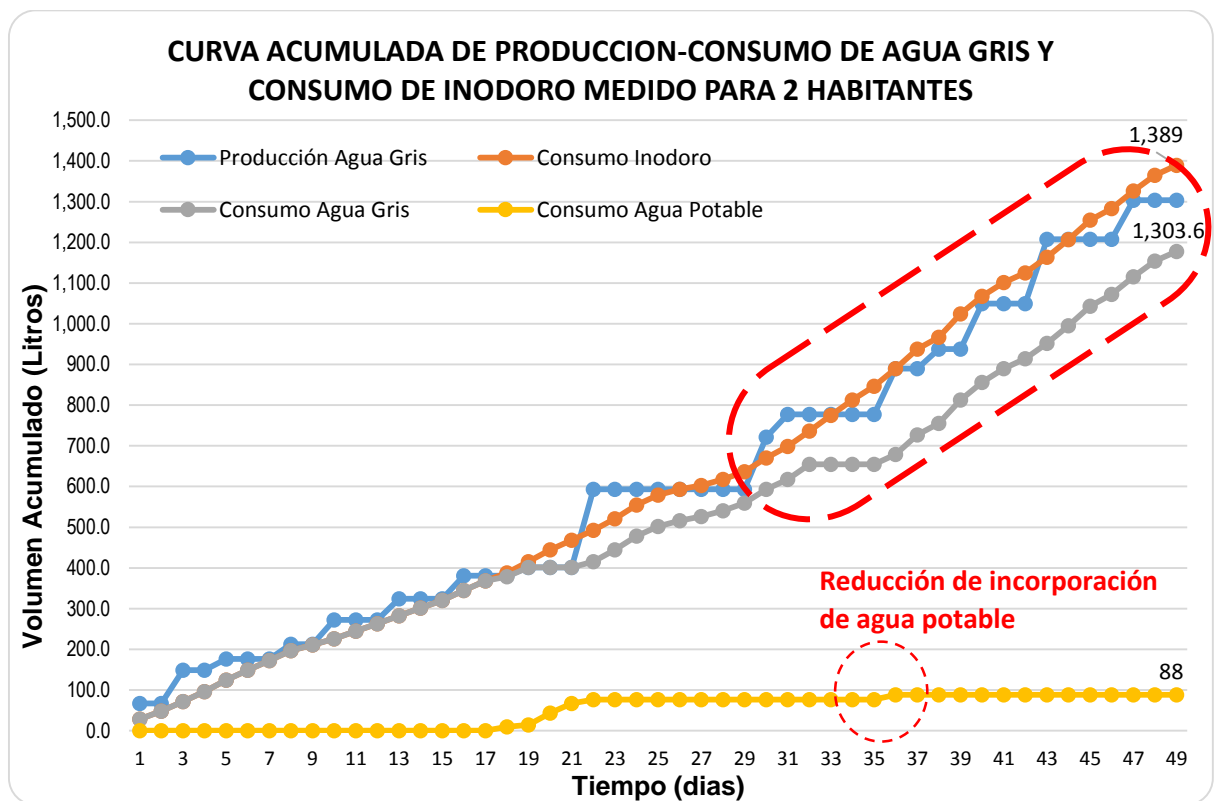


Figura 17. Curva acumulada de producción-consumo de agua gris y consumo de inodoro medido para escenario de 2 habitantes sin incidencia del escenario de 1 habitante ni fuga o pérdida de agua gris.

Del ajuste realizado, sin considerar la fuga o pérdida de agua gris registrado, se advierte que la curva de “Consumo Inodoro”, no tiene quiebre o ruptura en su tendencia

lineal con el tiempo, que ocasiona una reducción de incorporación de agua potable para cubrir el consumo.

Al respecto, se puede advertir que si no hubiese ocurrido la fuga o pérdida en el inodoro, en condiciones ideales de producción y consumo se podría alcanzar un abastecimiento del tanque de inodoro del 93,9% con agua gris, que no difiere en relación al estimado sobre la base de agua potable consumida de 88 litros, que da un abastecimiento de 93,7% que corresponde a la condición operativa más favorable encontrada en el sistema de recirculación de agua gris construida.

En relación a lo anterior, la situación de fuga en condición operativa, conlleva a una reducción del abastecimiento hasta el orden de 86%, por consiguiente, en condiciones operativas favorables de funcionamiento normal, el sistema de recirculación de agua gris construida alcanzaría una alta independencia del agua potable, es decir se reduciría significativamente el uso de agua potable para la descarga en el inodoro, en consecuencia una mayor cobertura o ampliación de servicio para nuevos usuarios, asimismo, serían menores los volúmenes de evacuación de aguas servidas a las redes de alcantarillado con un beneficio trascendental de reducción del impacto ambiental negativo.

De otra parte, es necesario precisar que estudios antecedentes, presentan evaluaciones ideales a nivel conceptual de aprovechamiento de aguas grises, al respecto, Kestler (2004), presenta estimaciones de dotaciones de descarga (producción) de agua gris por lavado de ropa de 19 L/hab/d y demanda (consumo) promedio para descarga de inodoros (heces y orina) de 20 L/hab/d, que supondría que en condiciones ideales, solo se tendría un déficit de 1 L/hab/d, es decir el agua gris abastecería el tanque del inodoro en un 95%; sin embargo, en el estudio se puede advertir de las mediciones, que estas estimaciones varían por aspectos operativos y dinámica de producción y consumo.

Por consiguiente, del comparativo de ambos escenarios, sin considerar la influencia entre ambos, el abastecimiento del tanque del inodoro alcanza los siguientes resultados.



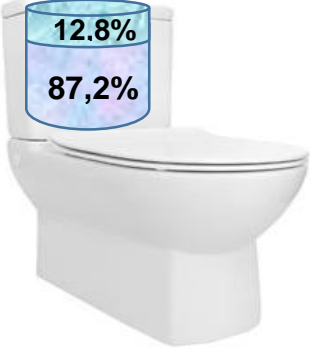



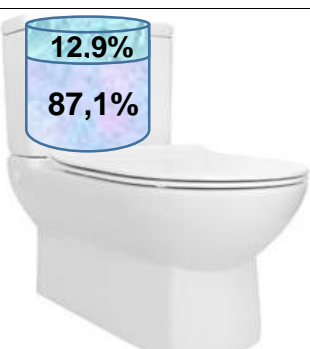
Condición de Operación	Escenario 1 habitante	Escenario 2 Habitantes	Escenarios 1 y 2 habitantes, continuado
Ideal			
Favorable u Optimista			
Desfavorable u Pesimista			

Figura 18. Abastecimiento de tanque de inodoro con agua gris y potable para diferentes condiciones de operación del sistema de recirculación de agua gris construido.

3. Análisis de costos de la instalación del sistema de recirculación de agua gris construido.

A continuación se determina el costo total de la construcción del sistema de recirculación de agua gris.

Tabla 14. Costo de inversión de la construcción de Sistema de recirculación de agua gris construido-costo directo

Materiales e insumos	Unidad Medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo parcial
Tubo de abasto (Chicote)	Und	1	11.00	11.00
Sumideros cromado 2"	Und	2	3.30	6.60
Pegamento para PVC	Und	1	2.50	2.50
Cinta Teflón	Und	5	1.00	5.00
Caja Filtro de polipropileno	Und	1	46.90	46.90
Tanque de Almacenamiento	Und	1	70.00	70.00
Válvula esférica 1/2"	Und	2	4.60	9.20
Válvula check de bronce 1/2"	Und	1	12.00	12.00
Tarugos	Und	4	0.20	0.80
Pernos	Und	4	0.20	0.80
Unión simple	Und	1	1.00	1.00
Cloro	Gbl	1	2.00	2.00
Tubo de PVC 1/2" clase 7.5	Und	2	10.00	20.00
Tubo de PVC 2"	m	0.5	2.00	1.00
Unión Universal hidro 1/2"	Und	1	2.50	2.50
Unión TEE 90° 1/2" PP Rosca	Und	1	1.00	1.00
Codo 90° - 1/2" PP Rosca	Und	6	0.65	3.90
Codo 90° - 2" PP Rosca	Und	1	1.00	1.00
Trampa para lavatorio	Und	2	7.00	14.00
SUB TOTALES				211.20

Mano de Obra	Unidad.	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Operario	GBL	1	150.00	150.00
SUB TOTALES				150.00
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN				361.20

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se advierte que el costo de construcción del sistema de recirculación de agua gris para el domicilio donde se realizó el estudio, tiene un costo relativamente bajo en comparación a los sistemas propuestos por otros investigadores de otros países, por lo tanto, al ser de bajo costo, tiene periodo de retorno a mediano plazo, y es perfectamente

accesible a diversos estratos socioeconómicos para su implementación a nivel domiciliario, no solo para el caso de Juliaca, sino para todo el país.

Seguidamente, se realiza un análisis de los costos de ahorro económico para el usuario con los precios del agua por metro cubico que cobra la empresa prestadora de servicios SEDA Juliaca, dependiendo de la clase y categoría, para este fin es preciso indicar que las estimaciones corresponde para la categoría doméstica en sus rangos de 0 a 8, 9 a 20 y 21 a más m³, siendo para el caso de Juliaca la estructura tarifaria que se muestra a continuación.

Tabla 15. Estructura Tarifaria

Oficio N° 1049-2015/SUNASS-120 del 14/12/2015

Clase	Categoría	Rango de consumo m ³ /mes	Tarifas S/. m ³	
			Agua	Alcantarilla
Residencial	Social	0 a más	0.4022	0.1618
	Doméstica	0 a 8	0.4022	0.1618
		9 a 20	0.5960	0.2384
		21 a más	1.1567	0.4608
No Residencial	Comercial	0 a 30	0.9705	0.3874
		31 a más	2.1891	0.8726
	Industrial	0 a 60	1.4122	0.5630
		61 a más	2.9181	1.1632
	Estatal	0 a 30	0.7321	0.2916
		31 a más	1.2036	0.4810

Fuente: EPS SEDA Juliaca, 2015

Al respecto, se consideró la tarifa para la categoría doméstica en sus tres rangos de consumo, es necesario precisar, que los costos de abastecimiento de agua potable de la empresa prestadora de servicios, EPS SEDA Juliaca, son bajos en comparación con otras ciudades del país, tal es el caso de la ciudad de Lima, cuyos costos son 3 a 4 veces mayores a los de la ciudad de estudio, por otra parte, estos costos podrían estar relacionados al deficiente servicio de abastecimiento, como el caso de la continuidad que es actualmente en promedio de 3 horas a 4 horas por día.

A continuación se muestra la estimación del ahorro económico por menor consumo de agua potable, desde el punto de vista del usuario del servicio al respecto, se asume conservadoramente que las tarifas no variaran en los próximos años.

Tabla 16. Ahorro económico con el sistema de recirculación de agua gris construido - en facturación por servicio de agua potable

		1 Habitante	4 Habitantes	7 Habitantes	10 Habitantes
Cantidad de agua gris producido m3		0.015	0.060	0.105	0.150
Costo de facturación por m3:	0 a 8	0.01	0.02	0.04	0.06
	9 a 20	0.01	0.04	0.06	0.09
	21 a más	0.02	0.07	0.12	0.18
Días de 1 periodo		365	365	365	365
Ahorro económico por facturación en soles (S/.)		2.2	8.8	15.4	22.0
		3.3	13.1	22.8	32.6
		6.4	25.6	44.8	64.1

Evolución de ahorro económico - en Facturación por servicio de agua potable						
Tipo de proceso		Periodo de recuperación (S/.)				
		1 Año	4 Años	8 Años	12 años	
Sistema con recirculación de agua gris						
Evolución de ahorro económico en soles (S/.)	1 Habitante		2.2	8.8	17.6	26.4
			3.3	13.1	26.1	39.2
			6.4	25.6	51.2	76.9
	4 Habitantes		8.8	35.2	70.5	105.7
			13.1	52.2	104.4	156.6
			25.6	102.5	205.0	307.5
	7 Habitantes		15.4	61.7	123.3	185.0
			22.8	91.4	182.7	274.1
			44.8	179.4	358.7	538.1
	10 Habitantes		22.0	88.1	176.2	264.2
			32.6	130.5	261.0	391.6
			64.1	256.2	512.5	768.7

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo se estimó el ahorro económico en servicio de alcantarillado, considerando las tarifas de la empresa prestadora de servicios, EPS SEDA Juliaca, que se muestra en la Tabla 17.

De la estimación, se tiene un ahorro económico por habitante desde la perspectiva del usuario de S/. 8,90 soles en la facturación durante 1 año, una tarifa relativamente baja, que considera que la situación de disponibilidad de ese recurso no se alterara en los años venideros, situación poco probable y que podría cambiar en el futuro a corto plazo, por el aumento cada vez mayor de la demanda de agua y por otro lado de la disminución de su

disponibilidad; asimismo, es necesario precisar que la estimación es por habitante, en consecuencia este ahorro económico multiplicara (aumentara) con el incremento de habitantes dentro de una vivienda.

Tabla 17. Ahorro económico con el sistema de recirculación de agua gris - facturación por servicio de alcantarillado

		1 Habitante	4 Habitantes	7 Habitantes	10 Habitantes
Cantidad de agua gris producido m3		0.015	0.060	0.105	0.150
Costo de Facturación por m3:	0 a 8	0.002	0.01	0.02	0.02
	9 a 20	0.004	0.01	0.03	0.04
	21 a más	0.007	0.03	0.05	0.07
Días de 1 periodo		365.00	365.00	365.00	365.00
Ahorro económico por facturación en soles (S/.)		0.9	3.5	6.2	8.9
		1.3	5.2	9.1	13.1
		2.5	10.1	17.7	25.2
Evolución de ahorro económico - en Facturación por servicio de Alcantarillado					
Tipo de proceso		Periodo de recuperación (S/.)			
		1 Año	4 Años	8 Años	12 años
Sistema con recirculación de agua gris					
Evolución de ahorro económico en soles (S/.)	1 Habitante	0.9	3.5	7.1	10.6
		1.3	5.2	10.4	15.7
		2.5	10.1	20.2	30.3
	4 Habitantes	3.5	14.2	28.3	42.5
		5.2	20.9	41.8	62.7
		10.1	40.4	80.7	121.1
	7 Habitantes	6.2	24.8	49.6	74.4
		9.1	36.5	73.1	109.6
		17.7	70.6	141.3	211.9
	10 Habitantes	8.9	35.4	70.9	106.3
		13.1	52.2	104.4	156.6
		25.2	100.9	201.8	302.7

Fuente: Elaboración propia

Al respecto, se presenta la estimación de ahorro económico para incremento del número de habitantes en una vivienda, que se muestra a continuación.

Tabla 18. Ahorro económico – servicio de agua potable y alcantarillado

		SOLES (S/.)			
		1 año	4 años	8 años	12 años
Ahorro económico - servicio de Agua Potable y Alcantarillado	1 Habitante	3.1	12.4	24.7	37.1
		4.6	18.3	36.5	54.8
		8.9	35.7	71.4	107.1
	4 Habitantes	12.4	49.4	98.8	148.2
		18.3	73.1	146.2	219.3
		35.7	142.9	285.7	428.6
	7 Habitantes	21.6	86.5	172.9	259.4
		32.0	127.9	255.8	383.7
		62.5	250.0	500.0	750.0
	10 Habitantes	30.9	123.5	247.0	370.5
		45.7	182.7	365.5	548.2
		89.3	357.1	714.3	1071.4

Fuente: Elaboración propia

Se advierte que para 4 habitantes dentro de una vivienda, se tiene el retorno de la inversión en este sistema de recirculación de agua gris en aproximadamente 10 años.

Del mismo modo, se realiza una estimación de la proyección del ahorro económico por la reducción del consumo de agua potable por reúso de agua gris, considerando las diferentes categorías de tarifas de EPS SEDA Juliaca y la población servida al año 2015, cuya estimación se muestra a continuación.

Tabla 19. Estimación de ahorro económico para 1 año para población servida de Juliaca por reúso de agua gris

Por servicio de:		Agua potable	Alcantarilla
Cantidad de agua gris consumido m3 (ahorro de agua potable)		1,117,343	1,117,343
Costo de Facturación por m3: en soles (S/.)	0 a 8	449395.4	180786.1
	9 a 20	665936.4	266374.6
	21 a más	1307291.3	514871.7

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, realizando la proyección de ahorro económico, para los próximos 12 años, para ambos casos de servicio de agua potable y alcantarillado, se obtienen las estimaciones que se detallan a continuación.

Tabla 20. Proyección de ahorro económico para los próximos 12 años por reuso de agua gris en el caso de la ciudad de Juliaca

	Ahorro económico en soles (S/.)			
	1 Año	4 Años	8 Años	12 años
Ahorro económico por servicio de agua potable de la ciudad de Juliaca con sistema de recirculación	449395.4	1797581.4	3595162.8	5392744.3
	665936.4	2663745.7	5327491.4	7991237.1
	1307291.3	5229165.2	10458330.5	15687495.7
Ahorro económico por servicio de alcantarillado de la ciudad de Juliaca con sistema de recirculación	180786.1	723144.4	1446288.8	2169433.2
	266374.6	1065498.3	2130996.6	3196494.9
	514871.7	2059486.6	4118973.2	6178459.9
	Soles (S/.)			
	1 año	4 años	8 años	12 años
Ahorro económico - servicio de Agua Potable y Alcantarillado	630181.5	2520725.8	5041451.6	7562177.4
	932311.0	3729244.0	7458488.0	11187732.0
	1822163.0	7288651.9	14577303.7	21865955.6

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se observa que el ahorro económico por reducción de consumo de agua potable y alcantarillado, sería de S/. 1 822 163 soles por cada año, tomando en referencia los costos reportados por EPS SEDA Juliaca para el año 2015, asimismo, potencialmente al año 12 de escenario futuro de implementación de este sistema de recirculación de agua gris a nivel domiciliario en toda la ciudad de Juliaca, se podría alcanzar ahorros económicos del orden de S/. 21 865 956 soles.

Por consiguiente, se tiene condiciones bastante favorables en la factibilidad económica en caso de implementarse este sistema de recirculación de agua gris para descarga en inodoro, no solo desde el punto de vista del usuario, sino de la empresa prestadora de servicio que reduciría significativamente la dotación suministrada a la población y podría dar cobertura a nuevos usuarios, menores costos en el tratamiento de potabilización para consumo humano, así como reducir los volúmenes de generación de aguas residuales domésticas que implica beneficios ambientales al reducir las cargas contaminantes sobre los cuerpos receptores (ríos y lagunas).

4. Evaluación de calidad de agua gris tratada y potable

Para la evaluación de la calidad del agua gris tratada y potable, se tomaron como punto de muestra los siguiente: puntos 1 de muestreo de agua potable que se emplea en la actividad de lavado de ropa, y como punto 2 de muestreo de agua potable que se emplea para todas las actividades de la cocina (proveniente de la red pública), asimismo se tomó como punto 3 de muestreo al agua gris tratada por etapas en la construcción del sistema.

Tabla 21. *Evaluación de parámetros de calidad de agua gris potable*

Punto de muestra	Físico	Químico		Microbiológico	
	SDT (ppm)	PH	N-NO3 (ppm)	Coliformes totales (NMP/100 ml)	E. Coli (NMP/100 ml)
Lavatorio de ropa	432	8.61	8.5	0	0
Lavatorio de cocina	383	8.34	7.5	0	0
Inodoro	402	8.22	30		
Equipo utilizados	Fotometría	Potenciómetro	Fotometría	Dilución y conteo en placa	

Fuente: Elaboración propia

Los valores de los parámetros físico – químico de solidos disueltos suspendidos y PH son similares para los tres (3) puntos de muestreo evaluado y son menores a lo establecido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA (6.5 – 8.5, 1000 ppm respectivamente).

Se advierte que el parámetro químico de nitratos es 30 ppm para el caso de agua gris tratada que es mayor a los valores de agua potable; este se debe sobre todo a la presencia de surfactantes contenidos en los detergentes, sin embargo este parámetro está por debajo del límite establecido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA (50 ppm).

El agua gris tratada no presenta contaminación fisicoquímico como se aprecia en el punto de muestreo en inodoro los valores son menores que los valores determinados en el lavatorio de ropa (agua potable red pública), asimismo no existen contaminación del

agua potable de la red interna de la vivienda. Por lo tanto el agua gris tratada presenta un riesgo muy bajo para la salud.

5. Propuesta de sistema de recirculación de agua gris para una vivienda unifamiliar

A continuación, sobre la base de la operación del sistema del sistema de recirculación de agua gris construido, se propone a nivel de detalle general de construcción para una vivienda unifamiliar con lavatorio de ropa en techo (captación de agua gris producida) y servicio higiénico completo (consumo de agua gris en inodoro).

CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones

1. Conclusiones

- ✓ Los componentes básicos del sistema de recirculación de agua gris instalado comprenden una unidad de producción, lavatorio de ropa de 2 pozas; sumidero con malla de abertura de 1 mm; para retener sólidos y pelusas; filtro de grava y arena, para retener solidos suspendidos; tanque de almacenamiento de agua gris tratada; tubería de alimentación a tanque de inodoro, que comprende una válvula de paso de agua potable, para evitar la mezcla entre los dos tipos de líquidos, válvula de retención o Check, para evitar el retorno de agua, un accesorio "T" que une la línea de alimentación de agua gris, agua potable y el tubo de abasto flexible (chicote) conectado al tanque del inodoro.

- ✓ En la condición operativa favorable del sistema de recirculación de agua gris medido para el escenario de 2 habitantes, se tiene un abastecimiento de 93,9% de agua gris y 6,1% de agua potable para cubrir el requerimiento de consumo del tanque de inodoro.

- ✓ En la condición operativa más desfavorable o pesimista del sistema de recirculación de agua gris medido para el escenario de 2 habitantes, el abastecimiento alcanza el 86,0% de agua gris y 14,0% de agua potable para cubrir el requerimiento de consumo del tanque de inodoro.

- ✓ Las condiciones operativas resultantes para el escenario de 1 habitante y la superposición de escenarios de 1 habitante + 2 habitantes, están dentro del rango descrito en los ítems anteriores.
- ✓ La Dotación de Producción de Agua Gris, DPAG, determinado es de 15 L/hab/d, representa el 10,5% de la dotación promedio diario anual de la empresa prestadora de servicio, EPS SEDA Juliaca, que potencialmente asciende a un ahorro de 1 117 343 m³ de agua potable por año que podría abastecer a 21 614 habitantes o nuevos usuarios del servicio.
- ✓ El costo de inversión de la construcción del sistema de recirculación de agua gris, que contempla, costos directos materia prima y mano de Obra asciende a S/. 361,20; el mismo tiene estimado un periodo de retorno de 10 años para 4 habitantes.
- ✓ El ahorro económico con el sistema de recirculación de agua gris construido, en la facturación por servicio de agua potable y alcantarillado para 4 habitantes en una vivienda asciende a S/. 35,70 en un periodo.
- ✓ La evaluación del sistema de recirculación de agua gris en relación a la calidad del agua gris tratada muestra un uso seguro pues no presento contaminación microbiológica y los parámetros fisicoquímicos están por debajo que el establecido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, para los parámetros evaluados.
- ✓ El ahorro económico será superior a la fecha estimada si las tarifas se incrementaran en los periodos siguientes, en tal sentido, si el agua gris producido en L/hab/d incrementa a una cantidad mayor a lo investigado (0,015 m³/hab/d), el periodo de retorno será menor.

- ✓ Considerando las tarifas económicas en las facturaciones de los servicios de la empresa prestadora, el ahorro económico por año por reúso de agua gris en el caso de la ciudad de Juliaca se estima en un monto ascendente a 1 822 163 nuevos soles.

2. Recomendaciones

- ✓ Evaluación comparativa de operación del sistema de recirculación de agua gris en un escenario de instalación de mochila económica de doble descarga para inodoro vs convencional.
- ✓ Investigar la relación entre las actividades a que se dedican los habitantes y la producción de agua gris a nivel domiciliario.
- ✓ Determinación de nuevos puntos o actividades domiciliarias que contribuyan mayores volúmenes de producción de agua gris, a fin de que la demanda del inodoro sea abastecida en su totalidad por aguas grises.
- ✓ Para aumentar la confiabilidad de uso de agua gris (no potable) para descarga en inodoro será necesario establecer parámetros esenciales desde el punto de vista sanitario mediante su verificación en laboratorio de contenido de materia orgánica disueltas (mg/L), nitrógeno, (mg/L), fósforo, (mg/L), alcalinidad, (mg/L) entre otros, con la finalidad de atenuar por completo algún residuo no deseado de los tratamientos físicos de agua gris, que dependerá entre otros del grado de suciedad de la ropa en el lugar y forma de uso del habitante.
- ✓ Para el caso de viviendas unifamiliares mayores a dos pisos, la presión de agua sería mayor al mínimo determinado en el estudio, al respecto, en concordancia al Reglamento Nacional de Edificaciones, la presión estática máxima no debe ser superior a 50 m de columna de agua (0,490 MPa), en caso de superar la presión máxima deberán instalarse dispositivos destinados a controlar el exceso de presión del sistema

de producción de aguas gris, y se graduarán de modo que puedan operar a una presión de 10% mayor que la requerida para el normal funcionamiento del sistema, dichos dispositivos pueden ser válvula de retención o interruptor de presiones para parada a presiones máximas.

Referencias

- Aguilar Tumax, C. H. (2010). *Utilización de aguas grises tratadas y aprovechamiento de aguas pluviales en edificaciones un enfoque ecoenergético*. Facultad de Ingeniería. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0187_MT.pdf
- Alkhatib, R. Y. (2008). *La eficacia del uso de aguas grises a nivel domestico*. Department of Civil and Environmental Engineering. Colorado, USA: Colorado State University, Ford Collins.
- AQUA. (2011). *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*. Asociación Española de Empresas de Tratamientos y Control de Aguas (AQUA España). Madrid, España: Grupo de trabajo de la Comisión Sectorial de Aguas Grises. Obtenido de <http://www.remosa.net/pdf/GUIA%20TECNICA%20ESPANOLA%20RECICLAJE%20AGUAS%20GRISES.PDF>
- Ardila Galvis, M. (2013). *Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas*. Facultad de Ingeniería, Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/77274286.pdf>
- Baquero, M. T. (2013). *Ahorro de agua y reutilización en la edificación en la ciudad de Cuenca, Ecuador*. Centro de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/estoa/article/download/313/266>
- Eco, C. (20 de Marzo de 2017). *www.concienciaeco.com*. Obtenido de La importancia de las aguas residuales en el día mundial del agua 2017: <https://www.concienciaeco.com/2017/03/20/aguas-residuales-dia-mundial-del-agua-2017/>
- Espinal Velasquez, C. M., Ocampo Acosta, D., & Rojas Garcia, J. D. (2014). *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de agua gris en el hogar*. Facultad de Tecnología, Ingeniería Mecatrónica. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4349/62167E77C.pdf;jsessionid=E72BB396F6135DC965E756636424947E?sequence=1>

Fernandes Moreira, V. (2011). *La edificación del sistema de protección y reutilización del agua en España y Brasil: Un análisis jurídico-ambiental derivado de la Política de la Unión Europea*. Derecho Administrativo, Financiero y Procesal, Facultad de Derecho. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.

Franco Alvarado, M. V. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile*. Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. Obtenido de

http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf;sequence=3

García Orozco, J. H. (1982). *el reúso del agua y sus implicaciones*. Estados Unidos: Vanderbilt University. Obtenido de

www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferecia/Transferencia52/eli4-52.html

Gramas. (3 de Abril de 2012). *Gramas*. Obtenido de Consultoría de construcciones bioclimáticas, eficiencia energética y energías renovables:

<https://gramaconsultores.wordpress.com/2012/04/09/estrategias-para-aprovechar-y-reutilizar-las-aguas/>

Hernandez Sampieri, R., Fernandez collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (4ta Edición ed.). México D.F., México: Mc Graw Hill Education / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

Kestler Rojas, P. J. (2004). *Uso, reúso y reciclaje del agua residual en una vivienda*. Universidad, Rafael Landívar, Facultad de Ingeniería. Guatemala: Ingeniería Civil Administrativa. Obtenido de

http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf

Llanos Bonilla, G. (2012). *Propuesta de instalación hidráulica sanitaria para la reutilización de aguas grises y aprovechamiento de agua pluvial en unidades habitacionales ubicadas en la ciudad de México*. Facultad de Ingeniería. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5252/tesis%20GLLB%20Ene12.pdf?sequence=1>

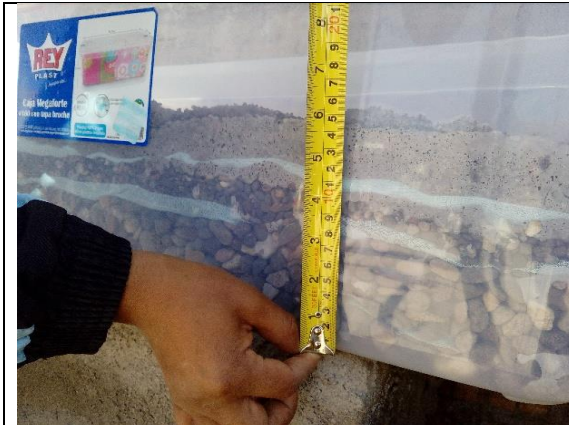
- López Patiño, G. (2015). *Análisis y caracterización de las instalaciones de agua de suministros de agua desde el punto de vista ahorro 2003-2005*. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- MINSA. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. Dirección General de Salud Ambiental. Lima, Perú: Ministerio de Salud.
- Moreno Ariza, T. A., & Quintero Gutiérrez, D. C. (2014). *Reutilización de agua en construcciones verticales*. Facultad de Ingeniería. Bogotá. Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1782/11/Trabajo%20de%20Grado%2027-01-2015.pdf>
- MVCS. (2011). *Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo, Propuesta Preliminar*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Niño Rodríguez, E. D., & Martínez Medina, N. C. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicas de la ciudad de Bogotá*. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co:8443/bitstream/handle/10554/11139/NinoRodriguezElkinDario2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- NSW, O. (2010). *Greywater*. New South Wales, Australia: New South Wales (NSW) Government, Office of Water. Obtenido de <https://www.water.nsw.gov.au/Urbanwater/Recyclingwater/Greywater/Greywater/default.aspx>
- Parra Astudillo, D. L., Carrillo Puerto, L. J., & Velandia Durán, E. A. (2015). Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reúso de agua doméstica. *Épsilon*, n° 24, enero-junio, 123-142. Obtenido de <http://oaji.net/articles/2015/2065-1443975253.pdf>
- Pérez García, R., Fuertes Miquel, V. S., López Patiño, G., & Herrera Fernández, M. (5 a 7 de Junio de 2006). Establecimiento de tarifas del servicio de agua potable bajo un enfoque de sostenibilidad económica. *VI SEREA Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*, págs. 4-5.

- RNE. (2015). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS).
- Sanz Escribano, D. (2007). *Estudio de viabilidad de reutilización de aguas residuales depuradas de una planta petroquímica mediante tecnología de membrana*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12904/DESARROLLO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20OI%20PARA%20LA%20REUTILIZACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEPURADAS%20DE%20UNA%20PLANTA%20.pdf?sequence=1>
- Sartor, A., & Cifuentes, O. (2012). *Propuesta de Ley Nacional para reúso de aguas residuales*. 18º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, AIDIS Argentina. Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/aidis_ley_reuso_aguas.pdf
- SUNASS. (2007). *Reglamento General de Tarifas*. Resolución de Consejo Directivo N° 061-2011-SUNASS-CD. Lima, Perú: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
- Tello Espinoza, P., Mijailova, P., & Chamy, R. (2016). *Uso seguro del agua para reúso*. Sao Paulo, Brasil: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS)-UNESCO. Obtenido de http://www.aidis.org.br/PDF/AIDIS-Uso_seguro_del_agua_26_sep.pdf
- UNESCO. (2007). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, Agua para todos, agua para la vida*. Ministerio de Medio Ambiente, España. Paris, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001494/149406s.pdf>
- UNESCO. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016, El agua y el empleo, cifras y datos*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, Oficina de Programa sobre Evaluación Mundial de los Recursos Hídricos, División de Ciencias del Agua. Perugia, Italia:

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico





Altura/cantidad del filtro de grava y arena



Medición de volumen de producción de agua gris



Instalación de accesorios para alimentar el inodoro tanto con agua gris y potable



Instalación terminada de los componentes que abastecen al inodoro de agua gris y potable

Anexo 2. Cálculo hidráulico

Debido a que la alimentación del agua gris es exclusivamente para el tanque de inodoro, el diseño se simplifica teniendo en cuenta que los diámetros que se seleccionan, se hace solamente en función de la velocidad, es decir que no deben ser mayores a los especificados en el Reglamento Nacional de Edificaciones que se muestran a continuación.

Tabla 2A. **Velocidad Máxima para el cálculo del diámetro de las tuberías de distribución**

Díámetro (mm)	Velocidad Máxima (m/s)
15 (1/2")	1,90
20 (3/4")	2,20
25 (1")	2,48

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones, 2.3 Red de distribución.

Se tiene para el diámetro de 1/2" una velocidad máxima de 1,90 m/s.

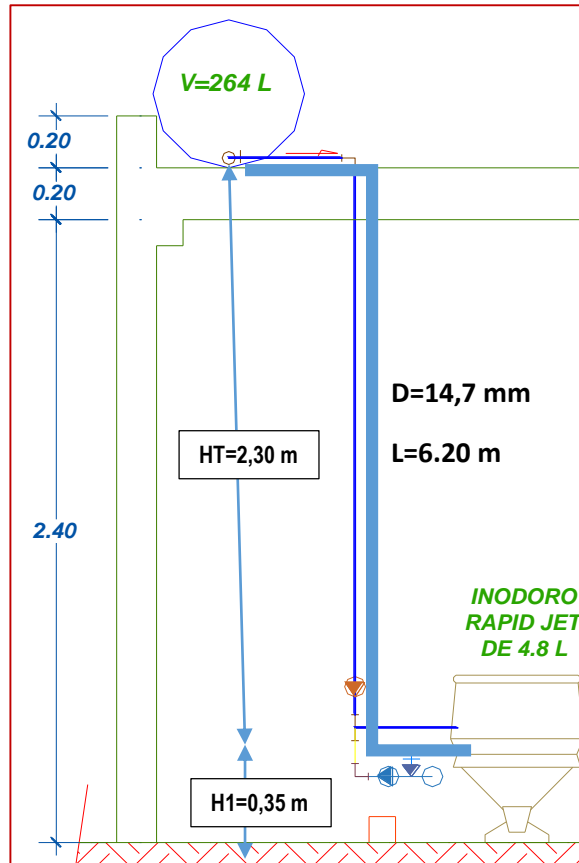
Tabla 2B. **Dimensiones comerciales de tubería PVC Clase 10**

CLASE 10 (10 bar)				
Diam. Nom. (mm)	Diam. Ext. (mm)	Esp. Nom (mm)	Diam. Int. (m)	Long. Util (mm)
1/2	21.0	1.8(*)	17.4	4.984
3/4	26.5	1.8(*)	22.9	4.980
1	33.0	1.8(*)	29.4	4.975

Fuente: Catálogo de productos, tuberías y accesorios de PVC, Plastisur.

Del catálogo de fabricante, se advierte que el diámetro interior para una tubería PVC de 1/2" es de 17,4 mm, para fines de cálculo

A continuación se presenta la representación esquemática del sistema para fines de verificar la carga hidráulica en el aparato sanitario.



Tenemos como datos de entrada previamente seleccionados.

Diámetro interior de tubería : 17,4 mm

Velocidad de diseño : 0,60 m/s (asumido)

Calculo de caudal

$$Q = V * A$$

$$Q = 0,6 \frac{m}{s} * \pi * \frac{(1,74\text{ cm})^2}{4} = 0,1427\text{ L/s}$$

El caudal máximo a transportarse corresponde a 0,1427 l/seg, es decir 0,0001427 m³/seg., por lo tanto, se realiza el pre dimensionamiento hidráulico para este caudal, previamente se definió las siguientes consideraciones.

Caudal : 0,0001427 m³/seg

Material : PVC

Coefficiente C de Hazen y Williams : 140 (obtenido de tablas)

Velocidad de conducción : 0,60 m/seg (definido)

Longitud de tubería de alimentación : 6,20 m

Calculo de pérdida de carga por fricción

Pérdida de carga por fricción (Hazen y Williams):

$$J_F = \frac{L * Q^{1.85}}{(0,275C)^{1.85} * D^{4.97}}$$
$$J_F = \frac{6,20 * 0,0001427^{1.85}}{(0,275 * 140)^{1.85} * 0,0174^{4.97}} = \mathbf{0,206 m}$$

Calculo de pérdida de carga por fricción

Pérdida de carga por puntos singulares o pérdidas localizadas, (K=5,20), incluye 3 codos de 90°, 1 válvula de retención y 1 entrada:

K codo de 90° : 0,90

K de válvula de retención : 2,00

K de entrada : 0,50

$$J_K = \frac{KU^2}{2g}$$
$$J_K = \frac{5,2 * 0,60^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,095 m}$$

Pérdida de carga total en la alimentación

$$F = J_F + J_K$$

$$F = 0,206 m + 0,095 m = \mathbf{0,301 m}$$

Verificación de carga hidráulica o presión en punto de alimentación

Del esquema de cálculo se advierte que la altura estática de carga disponible es de 2,30 m medido desde el nivel mínimo de tanque a punto de alimentación de inodoro, es decir corresponde a la peor condición de operación del sistema.

Por lo tanto, la carga de presión dinámica en el punto de salida hacia el aparato sanitario (inodoro) será:

$$P_{inodoro} = HT - F$$

Donde:

HT : Altura de carga hidráulica estática disponible

F : Perdidas de carga en operación dinámica

$$P_{inodoro} = 2,30 - 0,301$$

$$P_{inodoro} = \mathbf{2,00\ m}$$

Por lo tanto la presión de 2,00 m calculado, está dentro del límite de presión fijado por el Reglamento Nacional de Edificaciones (2,00 metros de columna de agua o 0,020 MPa). Asimismo, se debe precisar que durante el estudio se advirtió que efectivamente no se tuvo inconvenientes en la operación del sistema de recirculación de agua gris, lo que se corrobora con la verificación de cálculo realizado.

Anexo 3. Análisis de calidad de agua gris en laboratorio.



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-001

Una Institución Adventista

CLIENTE : Elida Natividad Ccolque Huamani
DIRECCIÓN :
LUGAR DE MUESTREO : 937774547
TIPO DE MUESTRA : Domiciliaria/agua gris tratada
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 22/05/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 22/05/2018
MUESTREADO POR : El cliente

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA					
Análisis	Unidad	Método	Valor obtenido		
			P1	P2	P3
Fisicoquímicos					
Nitrato	mg/L	Fotometría	8.5	7.5	30.0
Ph	Unidad de Ph	Potenciometría	8.61	8.34	8.23
Sólidos disueltos totales	ppm	Fotometría	432	383	402
Microbiológicos					
E. Coli	NMP/100 ml	Dilución y conteo en placa	0	0	0

Juliaca, 28 de mayo del 2018

Ing. Ruhama S. Román Damián
 Jefe de laboratorio
 UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN-FJ



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera
 Coordinador EP Ingeniería Ambiental

Ing. E. Vigo Rivera
 ING. QUÍMICO
 R. O.P. 112088