

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS
GRISES Y PLUVIALES PARA DISMINUCIÓN DE CONSUMO DEL
AGUA POTABLE EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CORONEL
BOLOGNESI EN LA CIUDAD DE TACNA - 2022”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. ANGEL RAÚL ROMERO BASURCO
Bach. ABRAHAM HERMES MAQUERA QUISPE

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS
GRISES Y PLUVIALES PARA DISMINUCIÓN DE CONSUMO DEL
AGUA POTABLE EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CORONEL
BOLOGNESI EN LA CIUDAD DE TACNA - 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de junio de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. JIMMI YURI SILVA CHARAJA

SECRETARIA : Mtra. ANA GABRIELA CRUZ BALTUANO

VOCAL : Mag. JORGE ENRIQUE ALVAREZ RUFFRAN

ASESOR : Mag. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Ángel Raúl Romero Basurco, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 41887860.

Yo Abraham Hermes Maquera Quispe, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 00525977.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:
“Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales para disminución de consumo del agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi en la ciudad de Tacna – 2022” el mismo que se presenta para optar: *El título profesional de Ingeniero Civil.*
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencia para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ellos en favor de tercero con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y

sanciones que de mi acción se derive, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, junio del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ángel Raúl Romero Basurco', with a large, sweeping flourish at the end.

Bach. Ángel Raúl Romero Basurco
DNI 41887860

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Abraham Hermes Maquera Quispe', with a large, sweeping flourish at the end.

Bach. Abraham Hermes Maquera Quispe
DNI 00525977

DEDICATORIA

A mi abuela, Justina Chambilla Tarqui, quien desde niño me educó y me enseñó el hábito de la perseverancia, hoy que quizás físicamente no pueda acompañarme, pero será siempre parte de los logros que vaya obteniendo en mi desarrollo profesional.

Ángel Raúl Romero Basurco

A mi hijo, Cristhiano Fabian Maquera Palacios quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para él.

También a mis padres y a ella mi todo ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moral y psicológicamente.

Abraham Hermes Maquera Quispe

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento eterno a mi madre, quien a pesar de todo siempre estuvo apoyándome para que pudiera conseguir este logro tan anhelado, a mis abuelos con quienes crecí, porque definitivamente son mi más grande ejemplo y a toda mi familia por ser siempre mi punto de apoyo, ya que sin un soporte emocional no se puede lograr nada, mi gratitud y respeto por siempre.

Ángel Raúl Romero Basurco

Agradecer a Dios por darnos salud y vida, y por sus bendiciones para lograr nuestros objetivos.

A la universidad Privada de Tacna por brindarnos la enseñanza para nuestra formación profesional y las oportunidades que nos brindaron en todos estos años.

A ella que estuvo en todo momento, en los altos y bajos de mi vida, simplemente gracias y eternamente agradecido por siempre.

Abraham Hermes Maquera Quispe

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación e importancia.....	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis Principal.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del estudio	7
2.1.1. A nivel Internacional	7
2.1.2. A nivel Nacional	9
2.1.3. A nivel local.....	10
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.2.1. Aguas residuales.....	11
2.2.2. Aguas grises	12

2.2.2.1. Fuentes de las aguas grises.....	13
2.2.2.2. Caracterización de las aguas grises.....	15
a. Características físicas.....	17
b. Características químicas	18
c. Características microbianas.....	25
2.2.3. Aguas pluviales	27
2.2.3.1. Importancia de las Aguas Pluviales.....	27
2.2.3.2. Caracterización de las aguas pluviales.....	28
a. Características físicas.....	28
b. Características químicas	29
c. Características microbianas.....	29
d. Cambios en la calidad del agua de pluvial cuando es almacenada.....	30
2.2.4. Sistemas de tratamiento de aguas grises.....	32
a. Sedimentación.....	33
b. Filtración.....	34
a. Coagulación y floculación	37
a. Desinfección química.....	42
b. Desinfección física.....	44
2.2.5. Normativa peruana relacionada al tratamiento y aprovechamiento de aguas grises	47
2.3. Definición de Términos	49
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	52
3.1 Tipo y nivel de la investigación	52
3.2. Población y/o muestra de estudio	52
3.3. Operacionalización de variables	53
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	54
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	54
3.5.1. Tratamiento de aguas grises y pluviales.....	54
3.5.1.1. Caracterización de las aguas grises y pluviales	54
3.5.1.2. Elección del posible proceso de tratamiento de aguas grises y pluviales	57
3.5.2. Estimación de los consumos de agua	61
3.5.2.1. Consumo de agua potable en toda la institución educativa	61
3.5.2.2. Consumo de agua de los inodoros y urinarios.....	61
3.5.3. Estrategias de aprovechamiento de uso de agua.....	63
3.5.3.1. Reúso de aguas grises provenientes de lavamanos.....	63

3.5.3.2. Utilización de agua pluvial	64
3.5.4. Estimación de costos de facturación de agua potable	69
3.5.5. Costos de la implementación del tratamiento de aguas grises	71
3.5.6. Consideraciones de diseño	71
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	77
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	84
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas del sistema SBR.....	39
Tabla 2. Ventajas y desventajas del sistema MBR.....	41
Tabla 3. Normativa internacional de calidad de agua para el uso en inodoros.....	48
Tabla 4. Operacionalización de variables	53
Tabla 5. Caracterización de las aguas grises.....	56
Tabla 6. Caracterización de las aguas pluviales	57
Tabla 7. Tratamiento de aguas grises estudiados.....	59
Tabla 8. Cantidad de inodoros y urinarios en la IEE Coronel Bolognesi.....	62
Tabla 9. Producción de aguas grises de los lavamanos.....	63
Tabla 10. Áreas techadas de la IEE Coronel Bolognesi.....	64
Tabla 11. Precipitación Total Anual en la Estación Jorge Basadre	66
Tabla 12. Facturación teórica de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi	70
Tabla 13. Estimación del costo	73
Tabla 14. Monto estimado del agua gris recuperada	73
Tabla 15. Estimación del consumo de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi.....	77
Tabla 16. Consumo total de agua de inodoros y urinarios	78
Tabla 17. Resumen de demanda y oferta de agua potable y recuperada en la IEE Coronel Bolognesi	78
Tabla 18. Resumen de costos	78
Tabla 19. Costos de implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas grises.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sedimentador de flujo horizontal.....	34
Figura 2. Filtro lento de arena.....	35
Figura 3. Proceso de coagulación y floculación.....	37
Figura 4. Esquema del balance de masas en un sistema de tratamiento biológico.....	38
Figura 5. Esquema de los sistemas MBR. (a) MBR con membrana sumergida y (b) MBR con membrana lateral externa.....	40
Figura 6. Desinfección UV.....	45
Figura 7. Sistema de tratamiento de aguas grises y pluviales sugerido para la IEE Coronel Bolognesi.....	60
Figura 8. Boxplot de datos descargados.....	65
Figura 9. Boxplot de datos corregidos.....	65
Figura 10. Histograma de datos corregidos.....	68
Figura 11. Esquema de la ubicación de módulos de tratamiento de aguas grises.....	72
Figura 12. Señalización a ser colocada en todos los servicios higiénicos del sistema de reciclaje.....	75
Figura 13. Ejemplos de señalización en inodoros.....	75
Figura 14. Esquemas del sistema de reciclado en los diferentes módulos.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia.....	94
Anexo 2 Planos.....	95
Anexo 3 Facturación de la IEE Coronel Bolognesi – EPS.....	97

RESUMEN

Las aguas grises y pluviales suponen una buena oportunidad para su reutilización en la descarga de inodoros, ya que pueden recolectarse de manera sencilla y eficiente. Si bien no necesitan tratamientos muy sofisticados para que puedan ser aprovechadas en usos no potables, debido a que existe una probabilidad de contaminación microbiana, éstas pueden suponer una grave amenaza para la salud si entran en contacto con los seres humanos. El sistema de tratamiento de aguas recicladas sugerido para la Institución Educativa Emblemática Coronel Bolognesi está compuesto de tuberías de recolección, pre filtros y tres módulos de tratamiento. Cada uno de estos módulos está compuesto de una criba, un tanque de almacenamiento de aguas crudas, una electrobomba, un filtro de arena, lámparas de desinfección con luz ultravioleta y un tanque de almacenamiento de aguas tratadas. El ahorro de volumen de agua potable que significa el reuso de aguas recicladas es de 3 394 407,30 l/año; sin embargo, esta oferta de aguas recuperadas, no satisface la demanda de agua necesaria para la descarga de la totalidad de inodoros. Con respecto al ahorro en la facturación teórica anual, este asciende a la suma de S/ 5 431,05. En ambos casos, el ahorro en agua potable y dinero facturado, corresponde al 13.3 % de la demanda teórica de agua potable total en la institución educativa.

Palabras claves: Aprovechamiento, aguas grises, aguas pluviales, sistema, tratamiento de agua, ahorro, reuso, consumo, costo.

ABSTRACT

Graywater and stormwater provide a good opportunity for reuse in toilet flushing, as they can be collected simply and efficiently. Although they do not need very sophisticated treatment to be used for non-potable purposes, because of the likelihood of microbial contamination, they can be a serious health threat if they come into contact with humans. The recycled water treatment system suggested for the Coronel Bolognesi School consists of collection pipes, pre-filters, and three treatment modules. Each of these modules consists of a screen, a raw water storage tank, an electric pump, a sand filter, ultraviolet light disinfection lamps, and a treated water storage tank. The volume of potable water saved by reusing recycled water is 3 394 407,30 l/year; however, this supply of reclaimed water does not meet the water demand needed to flush all the toilets. With respect to the savings in the theoretical annual billing, this amounts to S/ 5 431,05. In both cases, the savings in potable water and money billed corresponds to 13.3 % of the total theoretical potable water demand in the school.

Keywords: Use, greywater, rainwater, system, water treatment, savings, reuse, consumption, cost.

INTRODUCCIÓN

La escasez de fuentes de agua de buena calidad se está incrementando en todo el mundo. Este problema, aunado a una creciente población que demanda más volúmenes de agua para su consumo y actividades productivas, nos plantea el desafío de buscar fuentes alternativas de agua, que sean sustentables, especialmente desde el punto de vista de la salubridad. En la ciudad de Tacna, la situación es aún más crítica debido a encontrarse emplazada en una zona de desértica.

El suministro de agua potable, en una ciudad como Tacna, se ve continuamente afectado por restricciones que perjudican principalmente a la población más vulnerable y a las instituciones públicas. Específicamente, en el caso de las instituciones educativas estatales, éstas no solo tienen grandes deudas con las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (*Sunass Detectó 213 Colegios Públicos Con El Servicio de Agua Potable Cortado - Gobierno Del Perú, n.d.-a*), sino que también tienen problemas de recorte del servicio de agua potable. Aunada, a la deficiente cultura del agua de la población estudiantil, esta situación genera problemas de salubridad cada vez más acentuados.

La realidad que usualmente se presencia en los servicios higiénicos de las instituciones educativas estatales es preocupante, debido a que muchas veces no se dispone de agua potable para la descarga de inodoros y urinarios. Esta situación representa un foco infeccioso de enfermedades y malos olores.

En los últimos años, y con la revaloración del agua residual tratada, se han realizado numerosas investigaciones sobre su uso como una fuente alternativa de agua. Sin embargo, para actividades como la descarga de inodoros y/o urinarios, se ha considerado el uso preferente de aguas grises tratadas, en lugar de aguas residuales.

Existen muchos sistemas y tecnologías para el tratamiento de aguas grises, por lo que la elección aquel sistema que cumpla mejor con los requerimientos del efluente, de acuerdo a su posterior uso, depende principalmente de la caracterización de las aguas grises a tratar.

En la presente tesis se propone un sistema de tratamiento para tratar las aguas grises generadas en la Institución Educativa Emblemática Coronel Bolognesi y así, éstas puedan ser utilizadas para la descarga de inodoros y/o urinarios. También, se ha estimado la disminución que significaría el uso de este efluente, en términos de consumo

de agua potable y facturación. Por último, se ha planteado la ubicación de los módulos de tratamiento, y estimado su capacidad.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La escasez de agua es hoy uno de los grandes retos que afronta la humanidad para el futuro. Aunque el agua es abundante en la Tierra, el 97% de esta es agua salada perteneciente a mares y océanos; razón por la que se afirma que el agua es un recurso escaso, teniendo en cuenta que el agua dulce constituye sólo un 3% del total, y el 70% de esta no está disponible, debido a que se encuentra congelada en los bancos de hielo polares y alas glaciares.

En el Perú, la distribución del agua es desigual. Por citar la realidad, la costa peruana es el hogar del 70% de la población nacional y sólo dispone del 2% de los recursos hídricos de nuestro país (Burstein-Roda, 2018). Adicionalmente, el uso indebido durante años de los recursos hídricos por parte de la industria fabril, los efectos del cambio climático, una población en crecimiento y unas prácticas agrícolas inadecuadas han incrementado la escasez de agua y obstaculizado los esfuerzos hacia el desarrollo sostenible.

La Región Tacna se encuentra ubicada en la cabecera uno de los desiertos hiper-áridos más grandes del mundo, el desierto de Atacama; por lo que la escasez de agua siempre ha sido un tema crítico y limitante para su desarrollo (Pino-Vargas et al., 2022). Además, según un estudio realizado por el Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el año 2011, Tacna es una de las regiones que más sufre la escasez de recursos hídricos, debido a la disminución de las precipitaciones en las zonas altas y al mal uso del agua en las actividades agrícolas (ANDINA, 2011). De acuerdo a dicho informe, también se registra una tendencia incremental de temperatura, así como el incremento progresivo de lluvias extremas en la parte baja de la región, lo que afectaría principalmente a los habitantes de las zonas urbanas (ANDINA, 2011).

La Provincia de Tacna no ha sido ajena a la rápida urbanización y crecimiento poblacional que se viene dando a nivel mundial. En este caso, el agua usada para el consumo poblacional proviene de las provincias de las zonas altas: Candarave y Tarata; hecho que ha generado diferentes conflictos sociales entre las provincias involucradas.

Aunada a los conflictos sociales generados por la escasez del recurso hídrico en la región, se tiene la deficiente cultura del agua de la población y las autoridades. Por

consiguiente, es necesario promover alternativas sostenibles a largo plazo que nos ayuden cubrir la demanda de agua de una población en crecimiento. Es de suma importancia adoptar medidas de recuperación y reutilización del recurso hídrico, como el reúso de aguas grises, cosecha de agua de lluvia, fortalecimiento de la cultura del agua, entre otras (Tayara et al., 2021). Estas medidas pueden ser implementadas en asociaciones de vivienda, instituciones educativas y viviendas multifamiliares, con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema de alcantarillado municipal, disminuyendo los costos de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales y su consumo de energía, entre otros (Alsulaili et al., 2017).

Según el reporte ESCALE del Ministerio de Educación, al 2021 la Región Tacna cuenta con más de 300 Instituciones Educativas, de las cuales, el 10% presentan un promedio de 1,000.00 alumnos por Institución, significando un uso considerable de agua potable. En este contexto, la I.E Coronel Bolognesi al ser una Gran Unidad Escolar demanda una gran cantidad de agua potable en actividades de limpieza en general y en el riego de áreas verdes, desaprovechando una fuente como lo es el agua pluvial (lluvia) y el reúso de sus aguas grises. La construcción no cuenta con un sistema de canaletas en los techos, desperdiciando la oportunidad de captar y recolectar el agua pluvial para su disposición en actividades que no requieran de agua potable. Por otro lado, si bien la Norma Técnica IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones no considera pautas para el diseño de sistemas de reutilización de aguas grises, no impide la implementación de elementos que generen ahorro de agua (Contreras et al., 2021).

Por todo lo expuesto, es necesario promover alternativas que ayuden a la recuperación y reutilización del recurso hídrico, especialmente en regiones áridas como Tacna. Esto disminuiría los problemas de escasez de agua potable para la población, además de las grandes ventajas que conlleva desde un punto de vista medio ambiental, social y económico, pues supone un ahorro en el consumo de agua potable.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera se configura el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales para disminución del consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi de la provincia de Tacna?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál será el tratamiento que se realizará a las aguas grises y pluviales de la I.E. Coronel Bolognesi para que puedan ser aprovechadas?
- b. ¿Cuánto disminuye el consumo de agua potable en la I.E. Coronel Bolognesi al aprovechar las aguas grises y pluviales?
- c. ¿Cuánto es el costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi?

1.3. Justificación e importancia

La creciente demanda de agua potable, la contaminación de las fuentes de agua y la escasez del recurso hídrico en regiones áridas como Tacna, han incrementado la necesidad de contar con fuentes alternas de este recurso, como lo son las aguas grises y las aguas de lluvia.

La presente tesis tiene como *justificación teórica* que a nivel nacional no se han realizado muchos estudios sobre el reúso de aguas grises en instituciones educativas emplazadas en zonas áridas, siendo esta un referente en ese campo de estudio.

La *justificación práctica* implica que se provee de planos y diseños para que este sistema pueda ser implementado en la Institución Educativa Coronel Bolognesi.

En muchas oportunidades, debido a la escasez de agua potable en la región, se producen cortes del servicio, ocasionando que no se cuente con la dotación necesaria para la limpieza de inodoros, siendo estos un foco de malos olores y posibles enfermedades. La implementación de un sistema de reúso de aguas grises significará un abastecimiento continuo de agua en los inodoros, mejorando la calidad de vida de la población estudiantil dentro del recinto; siendo esta la *justificación social* de la tesis.

La *justificación económica* está orientada hacia el ahorro que generará el menor consumo de agua potable y su consiguiente reducción en las tarifas del servicio.

Finalmente, la *justificación ambiental* se relaciona con la búsqueda y uso de fuentes alternativas de agua, que sean sostenibles a largo plazo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales para disminuir el consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi en la provincia de Tacna.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar cuál será el tratamiento que se realizará a las aguas grises y pluviales de la I.E Coronel Bolognesi para que éstas puedan ser aprovechadas.
- b. Estimar la disminución del consumo de agua potable en la I.E Coronel Bolognesi al aprovechar las aguas grises y pluviales.
- c. Estimar el costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis Principal

Con una propuesta de diseño de aprovechamiento de aguas grises y pluviales se disminuye significativamente el consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El tratamiento que se realiza a las aguas grises y pluviales de la I.E. Coronel Bolognesi permite que éstas sean aprovechadas.
- b. Con el sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales se reduce significativamente el consumo de agua potable en la Institución Educativa.
- c. El costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi no es excesivo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

De la revisión bibliográfica descrita a continuación, se observó una brecha en las investigaciones realizadas a la fecha, ya que el reúso de aguas grises no ha sido estudiado lo suficiente en lo referido a su aplicación en centros educativos, donde el consumo de agua es alto y donde es muy importante contar con el suministro continuo que garantice la salubridad de los estudiantes y personal que laboran en ellos.

2.1.1. A nivel Internacional

Soto (2012), presentó su trabajo de investigación titulado: “Sistemas de tratamiento de aguas grises domésticas, como una alternativa para la seguridad hídrica de Tijuana”, el cual tiene como objetivo general: Hacer un análisis de percepción de dos grupos sociales clave (dos poblaciones socioeconómicamente distintas) para definir los factores cruciales en la adopción de un sistema de tratamiento de aguas grises doméstico; con el fin de proponer un plan básico de implementación de sistemas de tratamiento de aguas grises domésticos que cumpla con las características solicitadas por los actores relevantes en el tema, el cual concluye que para que el sistema pueda funcionar es necesario educar y concientizar a la población para que así los usuarios puedan tomar decisiones e implementar nuevas tecnologías que permitan mejorar el consumo del agua, asimismo indica que parte de la capacitación estaría ligada directamente al costo, facilidad de la operación, espacio y que cumpla con las funciones establecidas.

Alsulaili et al. (2017), en su estudio denominado “Treatment and potential reuse of greywater from schools: a pilot study” mostraron los resultados de un sistema piloto de tratamiento in situ y reúso de aguas grises recolectadas de lavamanos y fuentes de siete colegios de Kuwait. En dicha investigación, se evaluaron diferentes alternativas de tratamiento de estas aguas grises con diferentes tasas de caudal. Se implementó una planta piloto de 5 m³/d en escuelas con 500 estudiantes y el análisis detallado de costo-beneficio indicó un valor de ahorro neto, un excedente de \$1,600 por año y una recuperación de la inversión después de 6 años y 11 meses.

Saavedra (2017), presentó su trabajo de investigación titulado: “Prefactibilidad técnica y económica de una empresa dedicada a la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises en viviendas”, donde el objetivo general: Implementar en el mercado de la construcción una empresa líder con un sistema innovador de reutilización de aguas grises en viviendas, que concluye que el estudio ha demostrado la factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de reutilización de aguas grises en la comuna de Renca, demostrando que de cuatro escenarios posibles, uno presenta la recuperación de la inversión realizada en un horizonte de 3 años, con lo cual es factible realizar lo indicado en los objetivos propuestos.

Ortiz y Velandia (2017), en su investigación “Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua”, planteó como objetivo general: “Analizar a partir de la construcción de un modelo físico el agua de lluvia captada en el edificio R sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia para recolección y distribución de agua lluvia”. Como metodología, Ortiz y Velandia (2017), realizaron el cálculo del área de recolección de agua pluvial, luego procedieron a registrar durante 30 días la duración de las lluvias y su capacidad en litros para determinar el volumen total por mes. Realizaron la construcción de una estructura con una canastilla tipo Aquacell con el objetivo de filtrar el agua de lluvia y realizar el análisis de sus propiedades físicas y químicas de las muestras. Posterior a ello se realizó la estimación del volumen requerido para el abastecimiento (demanda), luego se hizo la relación con respecto a la oferta acumulada por mes para determinar el volumen a almacenar. Luego se determinó el coeficiente de potencial de ahorro con el que se obtuvo la cantidad de agua potable que se ahorró.

Tayara et al. (2021), en su artículo denominado “Feasibility and impact of greywater recycling in four types of buildings in Sharjah, United Arab Emirates” evaluaron la viabilidad y el impacto de las instalaciones de tratamiento de aguas grises en cuatro tipos de edificios (edificio residencial de gran altura, escuela, hotel y lugar de culto). El estudio incluyó una evaluación económica, así como una evaluación de los impactos en términos de emisiones de CO₂ y consumo de energía a largo plazo. En este caso, las aguas grises fueron reutilizadas para la descarga de inodoros o como agua de reposición en torres de enfriamiento de aire acondicionado. Los resultados mostraron que el reúso de las aguas grises es factible en los cuatro tipos de edificios y aplicaciones evaluadas. Este reúso puede generar reducciones significativas en el consumo de agua, las emisiones

de CO₂ y el consumo de energía. Sin embargo, los temas financieros, como el ahorro que estos sistemas puedan generar a los propietarios de las edificaciones, es un factor clave para decidir el interés en implementar este reúso.

2.1.2. A nivel Nacional

Arce (2013), en su tesis titulada “Urbanizaciones sostenibles: Descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales”, cuyo objetivo general de esta investigación es: Plantear una alternativa de solución para el saneamiento nacional, teniendo como base experiencias exitosas en otras partes del mundo. Concluyendo existen diversas tecnologías en el mundo, pero las mismas no pueden llegar al Perú debido a que no existe personal capacitado, por lo tanto, se plantea alternativas que permitan desarrollar el tratamiento de aguas residuales de manera paulatina, asimismo se analiza la rentabilidad de la propuesta estableciendo que si es factible el desarrollo de la misma.

Rivadavia (2018), presentó la tesis denominada “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”, la cual tuvo como objetivo general, evaluar los parámetros operativos de un sistema de recirculación de agua gris para su uso en descarga de inodoros en una construcción piloto a nivel domiciliario a escala real. Esta concluyó en que la evaluación del sistema de recirculación de agua gris en relación a la calidad del agua gris tratada muestra un uso seguro pues no presentó 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.

Bieberach Mugruza (2019), en su tesis titulada “Sostenibilidad para una red de reúso de agua residual urbana en la ciudad de Lima”, cuyo objetivo general de esta investigación es: Evaluar la sostenibilidad del planteamiento de una red de reúso de agua residual urbana, para 28 distritos de la ciudad de Lima, pertenecientes a la cuenca del Río Rímac, con fines de riego de áreas verdes, a partir de un enfoque multidisciplinario que contemple su desarrollo económico, medioambiental y social. Por lo que esta debe demostrar ser viable, equitativo y soportable. Estableciendo en las conclusiones que el planteamiento propuesto es viable en términos económicos, sociales y soportables en términos ecológicos y sociales.

Grandez (2015), en su investigación: "Aprovechamiento de agua de lluvia, para optimizar el uso de agua potable residencial", presentó como objetivo general: "Proponer un modelo de gestión y condiciones adecuadas que hagan viable la implementación de una red de agua para usos domésticos, alimentada por la captación de lluvias en regiones de importante precipitación pluvial, con la finalidad de optimizar el uso del agua potable." La metodología que planteó, consistió en realizar el cálculo de volúmenes disponibles de agua de lluvia en la zona estudiada por medio del análisis de datos pluviométricos. Así como también el estudio de demanda. Luego se realizó el balance hidrológico que determina el volumen necesario de almacenamiento. Por otro lado se realizó la simulación de áreas de captación de 1.870 m², 2.150 m² y 2,590 m² para evaluar el volumen de agua ahorrado con el aprovechamiento de agua de lluvia para la estimación del presupuesto en la construcción del sistema, concluyendo que se sugiere que el aprovechamiento de agua lluvia es una opción técnicamente viable, pero requiere de una inversión inicial que en el tiempo es recuperada, por lo que puede representar una solución interesante para contribuir a la gestión y el desarrollo sostenible; es preferible que el sistema se implemente durante el proceso constructivo de edificaciones nuevas, pues de esa forma es más fácil y económico; esto podría lograrse progresivamente con la incorporación en la normatividad vigente de una disposición en tal sentido, de tal forma que en un futuro próximo sea posible la utilización de agua no potable en determinados servicios domésticos en forma organizada.

2.1.3. A nivel local

Loza (2017), presentó su trabajo de investigación titulado: "Diseño de un sistema de reciclado de aguas grises y su aprovechamiento para un desarrollo sostenible en una vivienda multifamiliar de doce pisos en la ciudad de Tacna, 2017", donde el objetivo general de esta investigación es: Diseñar una vivienda multifamiliar aprovechando al máximo los recursos naturales, utilizando un sistema que logre minimizar el gasto indiscriminado de agua potable en actividades y tareas que no requieran tal calidad de agua en la ciudad de Tacna, 2017 y así mismo concluyó que construir un sistema de reciclado, genera un ahorro en el consumo de agua potable y por ende, en la economía de los usuarios en los departamentos.

Cauna (2020), presentó su trabajo de investigación titulado: “Sistema de tratamiento de aguas residuales del sector Arunta para reúso de áreas verdes del distrito de Tacna” donde el objetivo general de la Investigación es: Realizar el *reúso de aguas residuales para áreas verdes de la ciudad de Tacna*, a partir de unas bases iniciales de partida y unos niveles de vertido finales que cumplan con todos los requisitos marcados por la legislación aplicable y logren producir recursos derivados de la depuración. Llegando a una de las conclusiones siguientes: Con el uso de tecnología que opera hidráulicamente por gravedad se logró minimizar los consumos de energía y costes de operación y mantenimiento, dándole valor agregado al agua tratada para el riego de áreas verdes, las mismas que se vienen realizando con agua potable en el Distrito.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales se pueden clasificar en tres:

- a. Domésticas: Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

Las aguas residuales domésticas pueden dividirse en aguas negras, que contienen las aguas residuales generadas por el inodoro (heces y orina), y aguas grises, que contienen todos los demás flujos: aguas de baño, de lavado, de lavandería y de cocina.

- b. Industriales: Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (Puma Condori, 2020).
- c. Municipales: Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen

industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (Puma Condori, 2020).

El Perú genera aproximadamente 2'217,946 m³ (2012) por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Saneamiento (EPS). El 32% de estas recibe tratamiento. Un habitante de la selva genera 136 l/d, en la sierra 144 l/d y en la costa 145 l/d de aguas residuales. (OEFA, 2014).

Las aguas residuales generadas en la ciudad de Tacna sirven como fuente de agua para riego agrícola. El alcantarillado de la ciudad es conducido por colectores, que descargan en la planta del Cono Sur (Copare), donde se quedan 60 l/s para su tratamiento y la diferencia de 320 l/s pasa a la Planta de Magollo para su tratamiento. Otro de los colectores conduce aproximadamente 120 l/s de aguas residuales a las pozas de Arunta, donde los agricultores vienen reusando esta agua residual que, por su proximidad, genera riesgo de infiltración de contaminantes al acuífero ubicado en el mismo sector. El acuífero aporta aproximadamente 100 l/s. de agua potable para consumo humano en el mismo Distrito de Gregorio Albarracín, según el Estudio Tarifario de la EPS Tacna, realizado por la SUNASS el año 2018 (Franco Díaz, 2012).

2.2.2. Aguas grises

Las aguas grises se definen como las aguas residuales urbanas recolectadas separadamente del alcantarillado. Son generadas por duchas, tinas, lavamanos, lavaplatos, lavadoras y lavaderos; excluyendo generalmente a las aguas residuales generadas en lavaderos de cocinas, debido a la presencia de grasas y residuos de comidas.

Además, también hay quien distingue entre las aguas grises claras, que incluyen las aguas residuales del baño y de enjuague personal (como las de la ducha, la bañera y el lavabo), y las aguas grises oscuras, que son las aguas residuales de la cocina y, a veces, las de la lavadora. El uso del agua en general y la generación de aguas grises en particular varían según los lugares, dependiendo de factores como la disponibilidad de agua, los hábitos de consumo y la situación económica (Gross et al., 2015).

Las aguas grises representan la mayor fuente potencial de ahorro de agua en las viviendas, ya que representan entre el 50 % y 80 % del uso total de agua. Es un agua

que a primera vista puede resultar inservible, y que sin embargo su reutilización puede conseguir el ahorro de entre un 30 % y un 45 % de agua potable; protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de las aguas residuales (Loza Delgado, 2017).

2.2.2.1. Fuentes de las aguas grises

Con el cambio del uso de accesorios convencionales al uso de accesorios de bajo consumo de agua, el volumen de aguas grises a ser recolectado disminuirá. Además, las cantidades de aguas grises aportadas por las lavadoras modernas, y aún más por los lavavajillas modernos, han disminuido considerablemente en los últimos años. Esto implica que, en el futuro, a medida que los electrodomésticos existentes se vayan sustituyendo por otros nuevos, se estaría recolectando menos agua gris para reúso.

A continuación, se presentan las fuentes más comunes de aguas grises, en general:

- *Lavadoras de ropa:*

Excluyendo las aguas provenientes de las cocinas, las lavadoras son las que más contaminantes aportan a las aguas grises. Las lavadoras y los lavavajillas tienen aproximadamente 4-5 fases de limpieza, cada una de las cuales produce aguas grises de diferente calidad. La mayor parte de la contaminación se libera en las dos primeras fases de limpieza, y el nivel de contaminantes disminuye después de cada etapa. La primera etapa de funcionamiento de la lavadora sólo aporta el 18% del volumen, pero aproximadamente el 64 %, 40 %, 30 % y 34 % del total de DQO, amoníaco, fósforo y tensioactivos aniónicos, respectivamente.

- *Duchas y tinajas:*

El consumo de agua para el aseo difiere entre personas y culturas. Las duchas y tinajas son los principales contribuyentes a los coliformes fecales en las aguas grises ligeras o claras.

- *Lavamanos:*

El consumo de agua de los lavamanos varía mucho según la naturaleza de su uso. Los lavamanos aportan alrededor del 15 % del volumen total de las aguas grises y, en su mayoría, tienen bajas concentraciones de contaminantes.

- *Lavaderos y lavavajillas:*

El lavadero de la cocina produce alrededor del 26 % de las aguas grises domésticas y se informa de que un solo uso consume, por término medio, unos 12 L de agua (Gross et al., 2015). El agua del lavadero de la cocina contiene una elevada carga de contaminantes, como demuestra el hecho de que la corriente del fregadero de la cocina constituye aproximadamente el 58 % de los sólidos volátiles en suspensión, el 42 % de la DQO general, el 48 % de la DBO5, el 43 % de las grasas totales y el 40 % de los tensioactivos aniónicos de las aguas grises. A pesar de esta elevada concentración de contaminantes, se comprobó que las aguas residuales de la cocina sólo contribuyen de forma secundaria a los coliformes fecales y al boro (Gross et al., 2015). Sin embargo, el lavado de la carne cruda en el fregadero de la cocina puede contribuir a la existencia de otras bacterias, como la salmonela. El riesgo de esta contaminación microbiana puede reducirse excluyendo el agua del fregadero de la cocina del flujo de aguas.

Por otro lado, los lavavajillas son los contribuyentes más significativos de boro a las aguas grises. La fase más contaminante de un lavavajilla es la segunda, con el 33 % del volumen y el 50 %, 70 %, 90 %, 27 %, 64 % y 84 % de la carga de DQO, amoníaco, fósforo, tensioactivos aniónicos, cloruros y boro, respectivamente.

- *Combinación de aguas grises*

Las aguas grises reutilizadas suelen proceder de múltiples fuentes. Debido a las diferentes propiedades de cada fuente, la selección del suministro para la reutilización influye tanto en la cantidad como en la calidad de las aguas grises. Por lo tanto, debe seleccionarse una combinación de fuentes para obtener un resultado óptimo. Por ejemplo, dado que en el sector urbano la cantidad de aguas grises necesaria es sólo un 65 % de la cantidad total producida, se puede eliminar el flujo de la cocina, reduciendo así los costes de tratamiento sin disminuir el volumen de aguas grises por debajo de lo necesario. Se realizó un estudio sobre el impacto de la eliminación de una fuente

concreta en la calidad y cantidad de las aguas grises y se reveló que la exclusión de la ducha y el baño del flujo de aguas grises tuvo dos consecuencias no deseadas: una reducción del volumen de agua en un 20 % y un aumento de la concentración de contaminantes químicos. La eliminación de la corriente generada por el lavadero de la cocina supuso una disminución del 25 % del volumen de aguas grises, mientras que las concentraciones de SST, DQO, DBO5, sólidos volátiles totales, grasas totales y tensioactivos aniónicos disminuyeron. Por otro lado, las concentraciones de boro, sodio, nutrientes y coli fecal aumentaron. Cuando se eliminaron las aguas grises del lavadero, la lavadora y el lavavajillas, el volumen de agua se redujo en un 45 %; sin embargo, la calidad de las aguas grises mejoró significativamente. Hay que tener en cuenta que, para algunos usos, el volumen de aguas grises resultante no sería suficiente (por ejemplo, un uso combinado de descarga de inodoros y riego de un gran jardín de una casa unifamiliar) (Gross et al., 2015).

2.2.2.2. Caracterización de las aguas grises

En general, las aguas grises están menos contaminadas que el total de las aguas residuales domésticas porque no contienen aguas residuales de la descarga de inodoros ni gran cantidad de aguas residuales de la cocina. La contaminación fecal y la cantidad de sólidos y grasas en el agua disminuyen considerablemente al eliminar estos flujos (aguas residuales de inodoros y cocina) de la corriente de aguas grises. Además, la concentración de materia orgánica, especialmente la parte biodegradable, es menor en las aguas grises en relación con el total de las aguas residuales domésticas.

Las concentraciones de contaminantes en las aguas grises no siempre son inferiores a las concentraciones de contaminantes de las aguas residuales domésticas totales; esto debido a la gran variación entre los volúmenes y flujos relativos de cada fuente de aguas grises. Otros contaminantes, como las concentraciones de detergentes y, a veces, incluso de boro, suelen ser más elevados en las aguas grises que en las aguas residuales generales porque no se diluyen en el gran volumen de agua que genera la descarga del inodoro (Gross et al., 2015).

Según Gross et al. (2015), los factores que influyen en las características de las aguas grises son:

- Los flujos contenidos en las aguas grises; es decir, si éstas son claras u oscuras.
- Fuente de aguas grises; es decir, si éstas serán recolectadas de viviendas, oficinas, colegios, etc.
- Variables culturales y características de los generadores de aguas grises: Por ejemplo, cultura del agua, hábitos de consumo de productos químicos como el detergente para la ropa, el suavizante para la ropa y los productos de cuidado personal, la edad de los generadores de aguas grises y el número de ellos influirán en el volumen de agua y en su contenido de contaminantes. Los hábitos de uso del agua también influirán en la distribución diaria de los caudales de aguas grises.
- Variables climáticas y geográficas: Influyen en el consumo de agua y en la distribución del consumo diario y estacional.
- Calidad del agua potable a ser recuperada: Teniendo en cuenta, por ejemplo, que las características de las aguas subterráneas difieren del agua desalinizada en cuanto a las concentraciones de varios iones, alcalinidad y dureza, por lo que es probable que las características de las aguas grises se vean influenciadas por la calidad del agua potable de origen.

El tener en cuenta y evaluar todos los factores mencionados, permite una estimación preliminar de la naturaleza de las aguas grises a tratar, lo cual es importante para diseñar el esquema de tratamiento y reúso adecuado, así como identificar los riesgos que conlleva su uso.

La cuantificación de los caudales y las cargas de los parámetros físicos y químicos permite determinar el tamaño de la instalación de tratamiento, así como su tipo y su volumen de almacenamiento. Mientras que, la caracterización del nivel de contaminación microbiana permite evaluar el riesgo asociado a la reutilización de las aguas grises (Gross et al., 2015).

La caracterización de las aguas grises puede variar, incluso, dentro de una misma fuente a lo largo del tiempo, un fenómeno que se manifiesta en la amplia gama de valores de la mayoría de las variables de calidad del agua.

a. Características físicas

- *Temperatura:*

La temperatura de las aguas grises está influenciada por la temperatura del entorno y la de la fuente de agua. En algunos casos, las aguas grises tendrán una temperatura más alta que la del entorno, ya que proceden de aguas calientes de baño y lavamanos. Temperaturas por encima de los 30°C – 40°C pueden provocar el desarrollo de bacterias y favorecer la acumulación de residuos (cal) en los recipientes de almacenamiento y en las tuberías. Sin embargo, también puede acelerar los procesos de tratamiento biológico y hacerlos más eficaces (Gross et al., 2015).

- *Color:*

Las aguas grises reciben este nombre por su color, que en muchos casos es un tono gris. La fuente del color son sobre todo las sustancias colorantes que se añaden a productos como jabones y detergentes. El color suele considerarse un reto estético, por lo que se recomienda su eliminación durante el tratamiento. El color del agua puede medirse de varias maneras. Por lo general, el color no causa problemas significativos en el tratamiento y la reutilización de las aguas grises (Gross et al., 2015).

- *Olor:*

El origen del olor de las aguas grises sin tratar suelen ser los productos químicos, como los detergentes y otros productos de limpieza. Sin embargo, cuando las aguas grises sin tratar se almacenan durante un periodo de tiempo prolongado en un depósito, la concentración de oxígeno disuelto disminuye en cuestión de horas y comienzan a producirse procesos de descomposición anaeróbica, lo cual produce malos olores. La formación de olores es una de las razones por las que algunos sistemas de tratamiento no almacenan las aguas grises, sino que las transportan casi inmediatamente. Las mediciones cuantitativas de los olores son complejas y poco prácticas (Gross et al., 2015).

- *Sólidos y turbidez:*

El principal índice para describir los sólidos en las aguas residuales en general, y en las grises en particular, son los sólidos suspendidos totales (SST). Los sólidos en suspensión se definen como sólidos suspendidos en el agua con un diámetro superior a 1 μm (que no pueden pasar por un filtro de fibra de vidrio). La unidad de medida habitual es miligramos por litro (mg/L). Estos sólidos son también una fuente importante de turbidez, que se mide con un turbidímetro y se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Esta medida expresa la dispersión y absorción de la luz en contraposición a la cantidad de luz que puede atravesar el agua. Las causas de la turbidez del agua son los sólidos en suspensión y las partículas coloides, como las partículas de arcilla, los materiales orgánicos, las algas y los microorganismos. La turbidez provoca daños estéticos, puede reducir la eficacia de la desinfección y puede afectar a la fiabilidad de las pruebas analíticas. En los últimos años, la turbidez también se ha convertido en un índice de salud debido al cobijo que las partículas coloides y los SST proporcionan a los metales pesados y a las bacterias adheridas. Esta fijación suele ser fuerte debido a la elevada superficie de las partículas y a su carga. De este modo, los patógenos resguardados por las partículas se ven menos influenciados por la desinfección. Además, los coloides orgánicos pueden producir subproductos tóxicos en el proceso de desinfección del agua (por cloración) (Gross et al., 2015).

Las fuentes más comunes de SST en las aguas grises son los residuos de alimentos, la tierra, el polvo, las partículas de pelo y piel y las fibras de la lavadora. Así, las aguas grises procedentes de lavadoras y cocinas contienen la mayor concentración de SST en relación con otras fuentes. En general, las aguas grises contienen concentraciones más bajas de SST que las aguas residuales domésticas porque la concentración de SST en las aguas negras es muy alta (Gross et al., 2015). Las concentraciones de SST en las aguas grises cambian durante el día y dependen de la fuente de las aguas grises (por ejemplo, lavadora, cocina o ducha).

b. Características químicas

- *Salinidad y conductividad eléctrica:*

La salinidad de una solución se define como la suma de las concentraciones de iones en el agua, normalmente expresada en unidades de mg/L. La salinidad puede

cuantificarse directamente midiendo la concentración de los iones presentes en el agua y sumando sus concentraciones.

El método más común para evaluar la salinidad en las aguas residuales es hallar la conductividad eléctrica (CE) de la solución. La CE se mide con un electrodo de conductividad que mide el paso de la corriente a través del agua, en unidades de mS/cm. Como la CE se determina como un índice de salinidad, se define como una variable química. Este método es común, rápido, fiable y sencillo. En general, a medida que aumentan las concentraciones de sal, también aumenta la CE del agua.

Las fuentes importantes de sales son los jabones a base de sodio, nitrógeno y fósforo, que se encuentran en los detergentes y polvos de lavar. Una salinidad elevada puede afectar a la vegetación y a las propiedades del suelo, provocando la salinización de las aguas subterráneas. Cuando se utilizan aguas grises tratadas para el riego de áreas verdes y jardines, hay que prestar atención a su salinidad general, así como a los niveles de sodio, cloruro y boro (que es tóxico para las plantas).

- *Metales:*

La concentración de metales pesados en las aguas grises suele ser muy baja. Las fuentes potenciales de metales en las aguas grises (sobre todo de cadmio, mercurio, níquel y plomo) son los materiales de las tuberías, los cubiertos, las joyas, las monedas, los productos de mantenimiento del hogar, los materiales y productos de artesanía e incluso las mezclas de los empastes dentales. Aunque las fuentes no entren en contacto directo con las aguas grises, es posible que los metales se adhieran a la piel y lleguen a la corriente de aguas grises a través de la ducha o el lavabo. Además, la abrasión y el desgarro de diversos productos domésticos también pueden ser una fuente de metales. En los últimos años, el contenido de cadmio, mercurio y plomo está restringido en varios productos en lugares como Europa, por lo que se espera que sus concentraciones en las aguas grises se reduzcan (Gross et al., 2015).

- *pH y alcalinidad:*

Para expresar la concentración de iones de hidrógeno (protones) en el agua, se utiliza el pH. También, puede definirse como la actividad de los iones de hidrógeno en el agua. Los valores bajos de pH pueden hacer que los metales pesados se disuelvan en

el agua hasta un nivel que es venenoso para las plantas y pueden dar lugar a suelos ácidos. El uso prolongado de agua ácida también puede corroer las tuberías. El pH de la mayoría de las fuentes de aguas grises es bajo, oscilando entre 7 y 8, y el pH de las aguas grises de lavandería es aún más básico, oscilando entre 7.5 y 10. Esto se debe a que los polvos y líquidos de lavandería se componen de materiales básicos que contienen iones de hidróxido (OH^-), que elevan el pH.

La alcalinidad es básicamente la suma de iones alcalinos en solución o, en otras palabras, una medida de los iones en el agua que son capaces de recibir un protón (H^+). Los valores se expresan en miliequivalentes/L o mg/L de CaCO_3 . La alcalinidad expresa la capacidad del agua para resistir un cambio de pH cuando se introducen materiales básicos o ácidos. El agua con una baja capacidad de amortiguación (baja alcalinidad) sufre fluctuaciones de pH, mientras que el agua con una alta capacidad de amortiguación tiene un pH constante. El principal factor que contribuye a la alcalinidad es el origen del agua. En los sistemas de tratamiento de aguas grises, las reacciones químicas naturales pueden alterar la alcalinidad del agua.

- *Materia orgánica:*

La materia orgánica es el producto de un organismo, un producto de la actividad de un organismo o los restos de un organismo. Un compuesto orgánico es aquel que contiene átomos de hidrógeno y carbono unidos entre sí. Se llama orgánico porque, cuando se acuñó el concepto, se pensaba que la fuente de estos compuestos se limitaba a los seres vivos. Resultó que no era así, pero el nombre sobrevivió a pesar de que desde hace varias décadas se producen compuestos orgánicos sintéticos con fuentes que no son organismos. Otra complicación en torno al término orgánico proviene del uso del término materia orgánica para incluir los compuestos orgánicos.

La concentración de materia orgánica en las aguas grises es un factor importante para evaluar su calidad. Esta concentración puede ser un riesgo para el medio ambiente y la salud. El exceso de materia orgánica también puede modificar la capacidad de retención de agua del suelo, así como la capacidad de las partículas para desplazarse por él. Además, los procesos de descomposición microbiana pueden reducir la concentración de oxígeno disuelto en el agua, por lo que las altas concentraciones de materia orgánica favorecen los procesos de descomposición anaeróbica, que liberan gases tóxicos, como el H_2S y/o el metano, al medio ambiente.

Por último, la eficacia de algunos procesos de tratamiento cambia como consecuencia de la existencia de materia orgánica en el agua. Por ejemplo, cuando las bacterias y los virus patógenos se adhieren a las partículas orgánicas del agua, su tasa de supervivencia puede aumentar. Estas partículas sirven de sustrato en el agua, reduciendo así la eficacia de su desinfección. Para desinfectar el agua rica en materia orgánica se necesita más cloro y pueden formarse subproductos cancerígenos. Los principales métodos utilizados para estimar la concentración de materia orgánica miden la concentración de oxígeno consumido. Otra forma de estimar la concentración de materia orgánica es pesar el material perdido tras la combustión a alta temperatura.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO)

En el proceso de descomposición de la materia orgánica en condiciones aeróbicas, el oxígeno actúa como aceptor de electrones y se transforma en agua. La materia orgánica actúa como donante de electrones; pierde electrones y se oxida en dióxido de carbono. Por ello, suele haber una relación entre el consumo de oxígeno y la concentración de materia orgánica. La DQO se define como la cantidad de oxígeno que se habría consumido para la oxigenación completa de la materia orgánica en el agua. En comparación con la DQO, la DBO_5 describe el consumo de oxígeno resultante de la descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos en la muestra analizada. La DBO_5 sirve como indicador de la concentración de materia orgánica biodegradable en el agua (aguas grises en este caso), o de la capacidad de la materia orgánica para ser descompuesta biológicamente por los microorganismos en condiciones controladas (normalmente a 20°C) en un determinado periodo de tiempo (normalmente 5 días, de ahí la etiqueta DBO_5) (Gross et al., 2015).

En las aguas grises en general, e incluso en las aguas grises ligeras, las concentraciones de DQO y DBO_5 varían, llegando a veces a cientos de mg/L. Las principales fuentes de DQO y DBO_5 en las aguas grises son los tensioactivos de la ropa y los polvos o líquidos para lavar la ropa y el. Otras fuentes son las células de la piel, la grasa y los restos de comida. Aunque muchos países occidentales han prohibido el uso de tensioactivos con cadenas de carbono ramificadas que presentan una biodegradabilidad muy baja y los

han sustituido por tensioactivos de fácil biodegradación, estos materiales se siguen utilizando en muchos países (Gross et al., 2015).

- *Carbono orgánico total (COT)*

En el análisis del COT, la materia orgánica se oxida completamente a CO₂ y luego se hace pasar por un detector de infrarrojos (en la mayoría de los casos) que identifica cuantitativamente la concentración de CO₂ emitida. Se ha comprobado que, para muchos tipos de agua, incluidas las aguas grises, existe una relación directa entre la absorción de luz y la concentración de materia orgánica. Por lo tanto, es posible comprobar la absorción de luz por parte de las aguas grises para evaluar el contenido de materia orgánica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este índice no se aplica a la materia orgánica total, sino principalmente a las sustancias orgánicas aromáticas, y la prueba debe calibrarse en función del tipo de aguas grises.

• *Nutrientes: Nitrógeno y Fósforo*

Los nutrientes son elementos que componen la célula viva. Además del carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), las células vivas necesitan otros iones para crecer, como el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el cloruro (Cl), el azufre (S), el magnesio (Mg) y el sodio (Na). El crecimiento celular normal no es posible si faltan estos elementos. A pesar de esta dependencia de diversos elementos, el nitrógeno y el fósforo son los que más se denominan con el término nutrientes. Esto se debe a que se requieren en una cantidad mucho mayor que los demás y, por tanto, pueden limitar el crecimiento de las plantas, las algas y las células en general. Cuando las aguas grises se utilizan para el riego, la presencia de un cierto nivel de nitrógeno y fósforo es ventajosa, ya que pueden servir como alternativa a los fertilizantes. Por el contrario, cuando están presentes en cantidades excedentes, el nitrógeno y el fósforo pueden contaminar las masas de agua y los suelos. El exceso de nutrientes puede causar eutrofización. En una situación común, un estado de exceso de nutrientes en las masas de agua provoca la proliferación de algas, altera el equilibrio entre las distintas especies de algas, aumenta la turbidez, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y, posteriormente, perjudica a los organismos acuáticos (Gross et al., 2015).

- *Nitrógeno*

Las aguas grises contienen aproximadamente una décima parte de la concentración de nitrógeno que las aguas residuales domésticas. Es probable que la mayor parte del nitrógeno en las aguas grises (excluyendo las aguas residuales de la cocina) provenga de la orina, ya que su concentración en la orina es tan alta que incluso una pequeña cantidad es suficiente para contribuir a cantidades medibles del recuento total de nitrógeno en las aguas grises. Otra fuente de nitrógeno se encuentra en el lavado (en general) y en el lavado del cuerpo humano (en particular), que libera partículas de piel que contienen nitrógeno. La cantidad más significativa de nitrógeno en las aguas grises procede de las aguas residuales de las cocinas, originadas por los restos de comida, como la carne, que contiene proteínas. Es por eso que, en muchos países está prohibido reciclar las aguas residuales de la cocina, por lo que no se menciona esta fuente de nitrógeno. Al contrario de lo que ocurre con las aguas residuales domésticas, en las aguas grises no suele haber un problema de exceso de nitrógeno, e incluso puede darse el problema contrario: los bajos niveles de nitrógeno pueden limitar los procesos microbianos y retrasar la descomposición de la materia orgánica en los sistemas de tratamiento biológico habituales para tratar las aguas grises (Gross et al., 2015).

Las aguas grises de las duchas contienen niveles relativamente bajos de nitrógeno y fósforo. Al tratar aguas grises ligeras o claras (procedentes de duchas y lavabos), no se observó falta de nitrógeno. Es habitual expresar las concentraciones de nitrógeno en diferentes formas (como NH_3 , NO_3) en mg N/L de nitrógeno.

- *Fósforo*

El poco fósforo que se encuentra en las aguas grises procede principalmente de los detergentes en polvo y líquidos, y una parte proviene de la orina. En las últimas décadas, en Europa se prohibió a los fabricantes añadir fósforo a los detergentes; sin embargo, en los países en los que no existe tal prohibición sobre el uso de detergentes que contienen fósforo, se pueden encontrar

concentraciones más elevadas. Dado que la popularidad de los lavavajillas es cada vez mayor, se espera que las cantidades de fósforo en las aguas residuales aumenten en el futuro. Se espera que este aumento se manifieste en los lugares en los que el flujo de agua generado por la cocina se incluya en las aguas grises. El fósforo también se encuentra en la materia orgánica, que se libera durante la descomposición, y el fósforo disuelto se vierte en el agua (Gross et al., 2015).

- *Relación entre el nitrógeno, el fósforo y la materia orgánica*

Uno de los factores que afectan a la capacidad de biodegradación de la materia orgánica en las aguas residuales es el equilibrio entre nutrientes y sustancias orgánicas. Como se ha mencionado anteriormente, la calidad de las aguas grises varía mucho entre las distintas fuentes e incluso dentro de la misma fuente en distintos momentos, por lo que su biodegradación no es evidente. Por ejemplo, en las mediciones de la relación C/N/P en las aguas grises de la bañera, la ducha y el lavabo, las relaciones fueron de 100:6:0,2, 100:8:0,1 y 100:5:0,2, respectivamente. Estas proporciones indican que las aguas grises analizadas eran pobres en nitrógeno y fósforo y no eran óptimas para el tratamiento biológico. Sin embargo, cuando se trabajó con aguas grises ligeras o claras, se encontraron relaciones más altas de C/N/P (100:11:2), y en este caso, se concluyó que no había escasez de nutrientes en sus aguas grises (Gross et al., 2015).

- *Compuestos orgánicos xenobióticos*

Un compuesto orgánico xenobiótico (COX) es, concretamente, una sustancia artificial que no existían en la naturaleza antes de que el hombre la cree. En las aguas grises, estos compuestos se originan principalmente en productos químicos utilizados en el hogar. Algunos de estos compuestos suelen ser de baja degradabilidad y pueden suponer un peligro medioambiental cuando llegan al suelo o a las masas de agua. Los estudios han encontrado aproximadamente 900 sustancias orgánicas xenobióticas en las aguas grises, originadas por las sustancias utilizadas en las duchas y la lavandería. Se recomienda que se controlen los compuestos más comunes que generan riesgo ambiental, debido a los numerosos materiales encontrados en baja concentración. También se comprobó que los hábitos de consumo que influyen en la liberación de estas

sustancias difieren entre países y regiones, pero el orden de magnitud es el mismo (Gross et al., 2015).

Entre los conservantes, se ha estudiado ampliamente la presencia de parabenos en las aguas grises. Los parabenos se utilizan en productos de higiene personal, champús, dentífricos y desodorantes, y como conservantes en la industria. Durante mucho tiempo se consideró que estos parabenos tenían una baja toxicidad; sin embargo, en los últimos años, se comprobó su influencia negativa en el sistema endocrino. Asimismo, los parabenos podrían dar lugar a compuestos de gran toxicidad derivados del cloro si tienen contacto con agua clorada. Finalmente, estos compuestos pueden mellar el sistema reproductivo e inmunológico de peces y animales que beban estas aguas (Cuerva Fernández, 2020).

c. Características microbianas

La calidad microbiana de las aguas grises depende de muchos factores, como la fuente de agua, la temperatura y los hábitos de higiene personal. Las aguas grises pueden contener bacterias, virus, gusanos y protozoos patógenos procedentes de cuatro fuentes principales: el interior del cuerpo de los usuarios (principalmente patógenos fecales), las partes externas del cuerpo (por ejemplo, la piel, la nariz, la boca y los oídos), la preparación de alimentos y la ropa sucia. Así, se ha demostrado que las aguas grises pueden contener altos niveles de bacterias. Por ejemplo, a veces, las bacterias intestinales, como la salmonela y el campylobacter, pueden penetrar en las aguas grises como resultado del procesamiento de los alimentos en la cocina. No obstante, cabe destacar que los niveles de patógenos en las aguas grises suelen ser mucho más bajos que en las aguas negras (Gross et al., 2015).

Tradicionalmente, la investigación sobre la calidad del agua tiende a centrarse principalmente en la contaminación fecal. Por ello, la mayoría de las pruebas de calidad del agua se refieren a indicadores de contaminación fecal, principalmente *Escherichia coli*. Aunque la contaminación fecal se produce en las aguas grises, su alcance suele ser menor que en las aguas residuales domésticas completas. En las aguas grises, las concentraciones de patógenos procedentes de otras fuentes pueden ser mayores y, por tanto, más preocupantes. Cuando se utilizan las aguas grises para el riego o la descarga de los inodoros, los microorganismos patógenos pueden suponer riesgos para la salud humana de diferentes maneras. Este riesgo aumenta con la presencia de organismos

que son resistentes a diversos tratamientos de desinfección y que, por tanto, pueden propagarse en los sistemas de aguas grises, como *Cryptosporidium* y *Giardia*.

- *Bacterias indicadoras*

Las aguas grises contienen materia orgánica disponible y degradable, que puede favorecer el crecimiento de bacterias intestinales. Estas bacterias se utilizan a veces como indicador fecal porque se ha establecido que la presencia de bacterias intestinales humanas y animales suele indicar la presencia de bacterias patógenas. Por lo tanto, el seguimiento de las bacterias indicadoras que han crecido de forma desproporcionada debido a la materia orgánica disponible en las aguas grises podría llevar a una sobreestimación de la carga fecal y a un posterior cálculo erróneo del riesgo para la salud.

De acuerdo a Gross et al. (2015, p. 27), las bacterias indicadoras ideales deben cumplir varios criterios:

- Estar presentes en una concentración relativamente alta en comparación con los patógenos.
- Sobrevivir en una gran variedad de tipos de agua.
- Tener tasas de supervivencia similares o superiores a las de los patógenos.
- No multiplicarse en el agua.
- Originarse en el cuerpo humano y no ser comunes en otros entornos.
- Se originan en el sistema digestivo.

Una cantidad considerable de aguas grises procede del agua de aseo personal, que suele tener un menor contenido de contaminación fecal. Por ello, se sugirió examinar la presencia de patógenos de origen no fecal, como *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*. Estas bacterias se encuentran en la piel o en un entorno mucoso en los seres humanos (Gross et al., 2015).

2.2.3. Aguas pluviales

2.2.3.1. Importancia de las Aguas Pluviales

En forma individual la oferta de agua de lluvia para una zona en específica, dependerá de la precipitación pluvial y el área en la que se determinará. Grandez (2015) menciona que, existe 119,000 km³ de agua de lluvia en información existente, que se precipita sobre la superficie, a su vez se produce una evaporación anual de 72,000 km³, lo cual da como resultado que el agua de lluvia disponible para escorrentía superficial es de 47,000 km³. En ese sentido en el país tenemos tres regiones diferenciadas:

- Costa: En la región de la costa la oferta de agua de lluvia es escasa, pues las precipitaciones promedias son casi nulas y/o bajas, los registros marcan valores menores a los 30 mm, salvo en la zona norte donde alcanza hasta valores de 300 mm en situaciones en las que se presenta el Fenómeno del Niño. Grandez (2015).
- Sierra: En la región sierra existe una oferta de agua de lluvia considerable por temporadas, su precipitación promedio anual registran alrededor de los 1,000 mm. Grandez (2015).
- Selva: La región selva registra la mayor oferta de agua de lluvia, ya que la precipitación promedio anual es superior al 1,000 mm alcanzando valores superiores a los 3,500 mm. Grandez (2015)

El agua pluvial, a pesar de no ser potable, posee una buena calidad, ya que presenta una concentración muy baja de contaminantes debido a su nula manipulación. Es perfectamente utilizable para las tareas domésticas en las que puede sustituir al agua potable ya sea en el lavavajillas, lavadoras, riego de jardines. Dependiendo de la contaminación atmosférica que pueda arrastrar, el agua pluvial o agua de lluvia debe diferenciarse de las originadas en las cubiertas de los edificios, de las que provienen de las calles, carreteras, autopistas, etc. El agua pluvial puede aprovecharse en cisternas de sanitarios, lavadoras, lavado de pisos, autos, riego o depósitos contra incendios. Es importante contar con sistemas de filtración que permitan evitar la entrada de partículas

de mayor o menor tamaño, como restos de plásticos, hojas, etc. (Aqua España, 2019).

2.2.3.2. Caracterización de las aguas pluviales

Cuando el agua de lluvia se produce en la atmósfera, está relativamente libre de impurezas. Haq (2017) menciona que, la presencia de contaminantes en el agua de lluvia se podría deber a que:

- El agua de lluvia sólo puede contaminarse al absorber sustancias químicas del aire mientras cae. Por lo tanto, la calidad del agua de lluvia puede variar enormemente en función de las condiciones climáticas locales y de la contaminación atmosférica.
- El material de la superficie de la cuenca también puede contaminar el agua de lluvia cuando se desborda. El agua de lluvia absorbe las sustancias químicas de estos materiales y, por tanto, se contamina.
- La suciedad, los desechos y el polvo arrastrados por el viento, los excrementos de pájaros, animales, insectos, etc., los roedores muertos o los cadáveres y la basura contaminada que puede haber en la superficie sobre la que cae y fluye la lluvia.

Entonces, el agua de lluvia también puede contaminarse y su calidad puede deteriorarse durante su recogida, almacenamiento y uso.

a. Características físicas

Los contaminantes habituales que se encuentran en el agua de lluvia y que proceden del medio ambiente son los siguientes:

- Contaminantes gruesos:

Estos contaminantes incluyen basuras, restos de plantas, materiales flotantes, etc. Estos contaminantes prácticamente albergan otros contaminantes como diversos productos químicos y microorganismos que son arrastrados por la escorrentía superficial de las obras de drenaje pluvial.

- Sedimentos:

Los sedimentos son un componente común del agua de lluvia recogida en cualquier superficie. Las obras de construcción, las carreteras, los aparcamientos, las industrias, las zonas de suelos expuestos, etc., son las principales fuentes de sedimentos. Estos sedimentos actúan como vehículo de otros contaminantes como metales pesados e hidrocarburos, etc.

- Aceites y grasas:

El aceite y la grasa incluyen una amplia gama de compuestos orgánicos. Las fuentes de aceite y grasa en cualquier superficie incluyen fugas y roturas en máquinas o electrodomésticos, residuos de cocina, aceite usado, y la limpieza y el mantenimiento de las maquinarias que se llevan a cabo en la superficie.

- Nutrientes:

El nitrógeno y el fósforo suelen encontrarse en el agua de lluvia recogida en cualquier azotea. La presencia de estos nutrientes en las azoteas se debe a la deposición de partículas generadas por las emisiones de los automóviles, los procesos industriales, etc. La presencia de estos nutrientes en el agua de lluvia recogida es beneficiosa para su uso en el riego de jardines y áreas verdes.

b. Características químicas

La presencia de minerales disueltos en el agua de lluvia es muy baja, por lo que se ha observado que es relativamente agresiva. El agua de lluvia puede disolver metales pesados y otras impurezas de los materiales de la captación, la tubería y el depósito de almacenamiento. En la mayoría de los casos, las concentraciones químicas en el agua de lluvia recogida se encuentran dentro de los límites aceptables; sin embargo, en algunos casos se han registrado concentraciones más altas de zinc y plomo (Haq, 2017).

c. Características microbianas

En el agua de lluvia hay pocas posibilidades de que haya microorganismos, pero los microorganismos nacidos en el aire contribuyen de forma significativa a la contaminación bacteriana del agua de lluvia recogida en las azoteas. La presencia de

microorganismos se observa sobre todo en el agua de lluvia almacenada. El agua de lluvia recogida y almacenada puede contener una serie de microorganismos, aunque la mayoría de ellos son inofensivos. La principal causa de contaminación microbiana se debe a la contaminación fecal del agua de lluvia originada por los excrementos de aves y pequeños animales que pudiera depositarse en la infraestructura del drenaje pluvial. Por lo tanto, la presencia de la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) es muy común en el agua de lluvia almacenada (Haq, 2017).

d. Cambios en la calidad del agua de pluvial cuando es almacenada

Aparte de la contaminación del agua de lluvia debido a la absorción de diversas sustancias y productos químicos del medio ambiente, se producen varios cambios cualitativos en el agua de lluvia una vez que es recolectada y almacenada. De acuerdo a Haq (2017), los cambios cualitativos probables del agua de lluvia recogida son:

- Agua de lluvia ácida:

Cuando la lluvia cae de las nubes y fluye sobre cualquier superficie terrestre, el agua de lluvia absorbe gases atmosféricos como dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), etc. Cuando se disuelven en el agua de lluvia y se oxidan con el oxígeno presente en el aire, estos óxidos se convierten en ácidos: el dióxido de carbono produce ácido carbónico (H_2CO_3); el dióxido de azufre produce ácido sulfúrico (H_2SO_4); y el dióxido de nitrógeno se convierte en ácido nítrico (HNO_3). Cuanto más presentes estén estos gases en el aire, sobre todo en las zonas industriales, más ácida será el agua de lluvia, así como su sabor.

- Sal en el agua de lluvia:

En el agua de lluvia recogida cerca de los cinturones costeros, se puede notar la presencia de sal en el agua de lluvia almacenada. A veces, los vientos violentos procedentes de la costa arrastran diversos tipos de aerosoles de sal marina, que acaban llegando a las captaciones cercanas. Sin embargo, la ocurrencia de estos vientos violentos es estacional y trae comparativamente poca cantidad de sal. Aunque la concentración de sal

sea baja en el agua de lluvia, puede desalentar el uso del agua de lluvia recogida como agua potable.

- pH del agua de lluvia:

Teóricamente, el valor del pH del agua de lluvia varía entre 4.5 y 6.,5. Por lo general, este valor aumenta ligeramente a medida que fluye y se almacena en depósitos de hormigón o con material de superficie que contenga cemento. El fenómeno químico a este respecto es que el agua de lluvia ácida, al entrar en contacto con el cemento alcalino, tiende a volverse más alcalina, es decir, se produce una reducción de la naturaleza ácida del agua de lluvia. Esto se considera una condición favorable en la cosecha de agua de lluvia.

- Olor en el agua de lluvia almacenada:

La presencia de sales minerales, la materia orgánica procedente de las captaciones y la penetración de la luz solar en el embalse por cualquier medio promueven el crecimiento de algas en las paredes del embalse y en el agua de lluvia almacenada, que con el tiempo se descomponen en condiciones anaeróbicas (es decir, en ausencia de aire), lo que da al agua un olor parecido al de los huevos podridos. Otra fuente de olor son los sedimentos acumulados en el fondo del tanque. Los olores relacionados con los sedimentos son causados por la fermentación anaeróbica dentro del sedimento.

Otros problemas relacionados con los olores pueden deberse a la recogida de agua de lluvia procedente de cubiertas de asfalto o de alquitrán o de una superficie de cubierta de plástico, que puede desprender olores similares a los del alquitrán, la goma o el plástico. Los olores causados por animales muertos, roedores (ratones, cucarachas, ratas, etc.) e insectos son totalmente diferentes de los causados por la fermentación anaeróbica. Estos olores indican la presencia de cadáveres ahogados en el depósito.

- Suavidad:

El agua se vuelve "dura" debido a los iones de calcio o magnesio disueltos, que están ausentes en el agua de lluvia, lo que la hace blanda por naturaleza; esta agua no deja cal. El uso de agua de lluvia elimina la necesidad de un ablandador de agua y produce aguas residuales menos contaminadas. La presencia de menos minerales en el agua de lluvia también evita el desgaste de las tuberías y accesorios.

2.2.4. Sistemas de tratamiento de aguas grises

La gran escasez de recursos hídricos en los países en desarrollo ha llevado a los investigadores y profesionales a buscar recursos alternativos. Las aguas grises representan una de las mejores fuentes alternativas de agua debido a su menor contaminación en comparación con las aguas residuales. La separación de las aguas grises de las aguas negras es el paso crítico para la gestión adecuada que tiene como objetivo facilitar el proceso de tratamiento. El proceso de separación de las aguas grises de las negras tiene muchos beneficios, entre los que se encuentra la reducción de la cantidad de energía consumida en comparación con los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

El objetivo principal de los procesos de tratamiento es eliminar las heces y la orina de las aguas residuales y grises, ya que pueden provocar el crecimiento de microorganismos patógenos y contaminar el medio ambiente. En ausencia de grandes cantidades de materia orgánica en las aguas grises, el proceso de tratamiento es más eficaz. Sin embargo, los principales retos de las aguas grises residen en los compuestos orgánicos xenobióticos (COX), que no se eliminan completamente con el proceso de tratamiento tradicional. La desinfección de las aguas grises puede realizarse mediante procesos naturales, como la desinfección solar. Esto en lugares donde la intensidad de la luz solar esté entre 5.2 y 6.8 kWh/m²/día (Radin Mohamed et al., 2019, p. 126).

2.2.4.1. Almacenamiento de las aguas grises

Los sistemas de almacenamiento se utilizan principalmente para la acumulación de las aguas grises antes de someterlas al proceso de tratamiento y para regular la posterior reutilización. El sistema de almacenamiento podría mejorar la calidad

microbiológica de las aguas grises en términos de reducción de bacterias patógenas debido a la deficiencia en las condiciones favorables necesarias para su crecimiento, como los nutrientes, y aumentar la competencia entre los microorganismos en las aguas grises. Se debe tener en cuenta que, el almacenamiento de las aguas grises crudas durante más de 24 horas conduce a un aumento del total de coliformes (TC).

Las preocupaciones asociadas con el almacenamiento de las aguas grises y su posterior vertido al medio ambiente radican en el bajo nivel de oxígeno disuelto (OD), que conduce a la muerte de muchos organismos acuáticos debido a las condiciones anaeróbicas. La reducción del nivel de oxígeno disuelto podría deberse a los procesos de oxidación y degradación que consumen el oxígeno disponible en las aguas grises. Entonces, uno de los beneficios del sistema de almacenamiento es la degradación de la materia orgánica en sustancias simples y, por lo tanto, su mayor disponibilidad para las plantas. El almacenamiento de las aguas grises también podría facilitar el proceso de desinfección debido a la reducción de los sólidos suspendidos totales durante el almacenamiento. Sin embargo, la degradación de las sustancias orgánicas durante el almacenamiento podría mejorar la eficacia del proceso de desinfección, ya que estos sustratos reaccionan con el desinfectante y, por tanto, se requiere una mayor dosis inicial para inactivar las bacterias patógenas (Radin Mohamed et al., 2019).

2.2.4.2. Tratamientos físicos

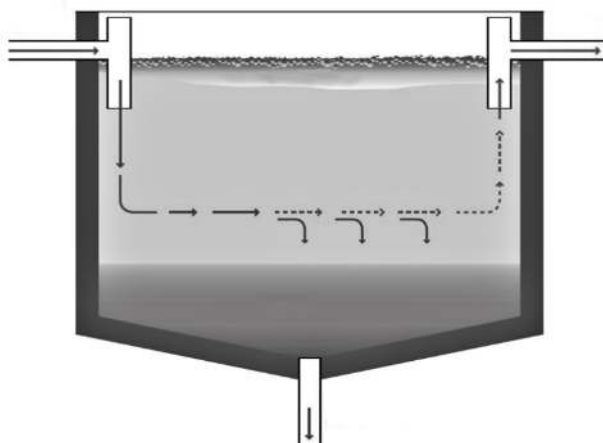
a. Sedimentación

La sedimentación se refiere, generalmente, a la deposición gravitacional de partículas orgánicas e inorgánicas en solución en el fondo de un depósito de sedimentación. El depósito también puede utilizarse como separador de aceites y grasas si la salida del agua está situada por encima del sedimento y por debajo del nivel superior del agua donde se acumulan los aceites y las grasas (Fig. 1). La eliminación de los sólidos en suspensión (SS) de los efluentes crudos mediante sedimentación gravitacional es uno de los métodos de pretratamiento de aguas residuales más comunes. A menudo, la sedimentación también se utiliza para separar los lodos y el sobrenadante después del tratamiento secundario.

La mayoría de partículas en suspensión de las aguas residuales tienen una amplia gama de tamaños. Para determinar la eficacia de una deposición determinada, hay que

tener en cuenta todo el rango de velocidades de sedimentación existente en el sistema. Además, hay que tener en cuenta que en las aguas residuales urbanas la mayoría de las partículas tienen una capacidad de auto-floculación, lo que conduce a una velocidad de deposición que aumenta con la profundidad. Es posible que las partículas floquen también en las aguas grises, pero esto aún no se ha probado. Hay varias formas comunes de instalaciones de sedimentación, incluyendo la redonda o la rectangular, con flujo horizontal o vertical. Se puede suponer que, en los sistemas de tratamiento pequeños, el contenedor de recogida y equilibrio servirá también como depósito de deposición (Gross et al., 2015).

Figura 1
Sedimentador de flujo horizontal



Nota. Diseño de Sedimentador obtenido de
SSWM - Find Tools for Sustainable Sanitation
and Water Management!, n.d.

b. Filtración

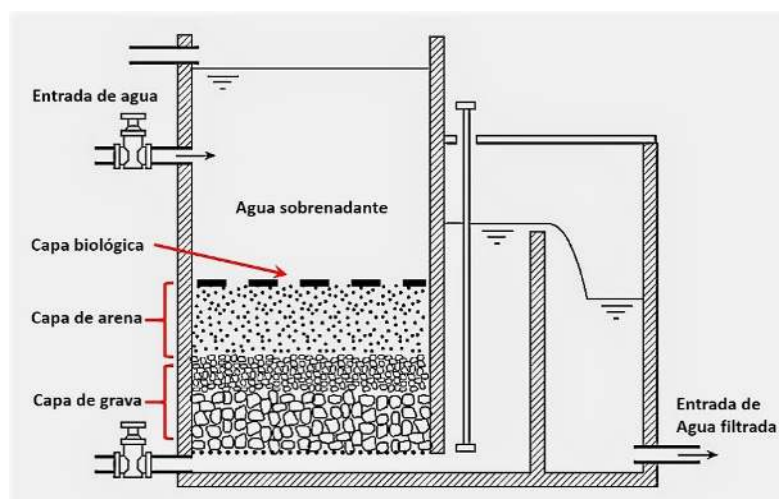
La filtración se define como la eliminación de partículas o materia coloidal del líquido. Es un medio antiguo y muy extendido para eliminar las partículas del agua. El uso de filtros de arena y grava para la purificación del agua está documentado desde siglos atrás. Se puede conseguir una variedad de niveles de filtración, utilizando diferentes técnicas. Éstas van desde la filtración gruesa para eliminar el pelo y las partículas grandes, hasta la filtración por membrana, incluyendo la nanofiltración y la

ósmosis inversa (OI). La filtración gruesa y/o la sedimentación suelen ser la fase inicial del tratamiento y, en algunos sistemas, constituyen el único tratamiento.

- Filtros de arena

Un filtro de arena se construye con un recipiente lleno de granos de arena de un tamaño determinado. Por encima de la capa de arena hay una capa de grava, con una red de tubos finos que descargan el agua a baja presión para dispersarla uniformemente por la arena (Fig. 2). El agua se filtra a través de la capa de grava y arena hasta otra capa de grava, situada en la parte inferior del filtro, y luego se descarga para su uso. La parte superior del filtro (hasta unos 50 mm) se obstruye ocasionalmente, y hay que realizar un retrolavado o sustituir la arena por otra limpia (Gross et al., 2015).

Figura 2
Filtro lento de arena



Nota. Filtración Lenta de Arena obtenido de SSWM - Find Tools for Sustainable Sanitation and Water Management, n.d.

Cuando el agua fluye a través de la arena, la tasa de filtración está representada por V . Suele medirse mediante un ensayo de permeabilidad, $V = K \times i$, que depende de la altura (h) y del espesor del medio (i). A diferencia de la tasa de filtración, la conductividad hidráulica K no cambia con la altura. No depende del espesor del medio, sino únicamente de las propiedades del líquido y del medio. El profesional encargado de diseñar el sistema debe determinar la

conductividad hidráulica en función de la arena utilizada en el filtro. Una regla general para planificar una unidad de filtración gravitacional de arena para aguas grises es asumir una tasa de filtración de 5 – 10 m³/m²/h cuando la profundidad de la capa de filtración oscila entre 50 y 150 cm.

- Filtración de membranas

La filtración por membrana es una extensión de la definición general de filtración de materiales disueltos. Hay muchos tipos de membranas diseñadas para diversos tratamientos del agua, siendo las más comunes la microfiltración (MF), la ultrafiltración (UF) y las membranas de ósmosis inversa. Estas tres membranas funcionan aplicando presión a un lado de una membrana semipermeable, forzando al agua a pasar al otro lado mientras las partículas y la materia disuelta no pueden pasar. El tamaño de las partículas filtradas depende del tamaño de los poros de la membrana.

Una membrana de microfiltración tiene un tamaño de poro de 0,5 µm. En el proceso de filtración, una matriz de partículas grandes se deposita en la membrana y sirve de filtro poroso que capta las partículas más pequeñas. La filtración a través de las membranas de MF elimina las partículas suspendidas y coloides. Permite eliminar por completo las bacterias y los protozoos y reducir el contenido de virus en 2-3 órdenes de magnitud. El diámetro de poro característico de las membranas de ultrafiltración es de 0,02 µm, y éstas están destinadas a filtrar todos los virus. Sin embargo, debido a la falta de uniformidad de las membranas, no hay certeza de que se eliminen todos los patógenos, por lo que se puede considerar el uso de otro medio de desinfección según la necesidad. Cuanto más pequeños sean los poros, mayor será la presión del agua necesaria para su paso y mayor será la sensibilidad de la membrana a la obstrucción. Por lo tanto, las membranas delicadas, como las membranas de ósmosis inversa, requieren una mayor inversión en funcionamiento y mantenimiento. Por ello, no se utilizan en el tratamiento de aguas grises. Para evitar la obstrucción de las membranas, el agua debe someterse a otros tratamientos previos, como la filtración por arena. Para ello, las membranas de MF y UF pueden utilizarse como pretratamiento antes de la ósmosis inversa.

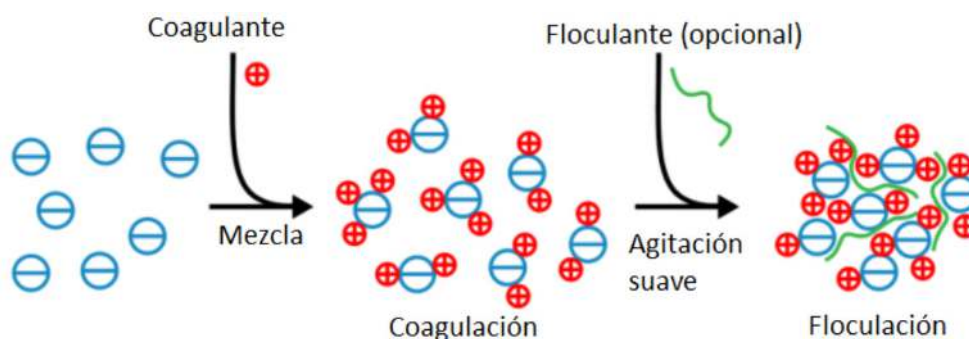
2.2.4.3. Tratamientos químicos

a. Coagulación y floculación

La coagulación es un proceso durante el cual se introducen en el agua uno o varios coagulantes químicos para preparar los materiales suspendidos, coloidales y disueltos para el proceso de floculación. También puede crear las condiciones que permiten la eliminación de material disuelto y particulado del agua. El pequeño tamaño de las partículas coloidales y su carga eléctrica global negativa hacen que las fuerzas de repulsión entre ellas sean mayores que las de atracción. Sin embargo, el coagulante químico altera la estabilidad de estas partículas coloidales, de modo que pueden crecer tras las colisiones entre ellas y, por tanto, pueden ser eliminadas por precipitación.

En la floculación, las partículas desestabilizadas, como las resultantes del proceso de coagulación, forman agrupaciones (flóculos) que son relativamente grandes y, por tanto, pueden ser eliminadas del agua por sedimentación y/o filtración (Fig. 3).

Figura 3
Proceso de coagulación y floculación

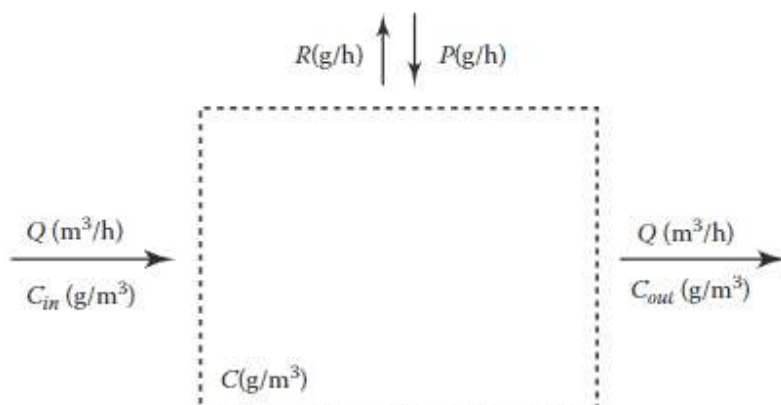


El uso de procesos fisicoquímicos puede permitir un mejor tratamiento de las aguas grises en pequeños sistemas de tratamiento in situ caracterizados por volúmenes y calidades cambiantes. Aunque las tecnologías físicas simples pueden hacer frente con éxito a volúmenes variables, eliminan la materia orgánica total con menos eficacia y pueden obstruirse rápidamente. El estudio de la eficacia de este proceso fisicoquímico reveló que los procesos eliminan satisfactoriamente la materia orgánica de las aguas grises ligeras, pero cuando las aguas grises crudas contienen una alta concentración de materia orgánica, los resultados no cumplen las normas (Gross et al., 2015).

2.2.4.4. Sistemas biológicos

El tratamiento biológico está diseñado para eliminar la materia orgánica disuelta y en suspensión de las aguas residuales, pero, con las configuraciones adecuadas, también podría tratar el nitrógeno, el fósforo e incluso, en cierta medida, las sales. La diferencia entre la eficiencia del tratamiento se refleja en los siguientes factores: régimen de flujo (es decir, modo continuo frente a modo discontinuo, flujo completamente mezclado frente a flujo pistón), tipo de flujo (es decir, saturado o no saturado), condiciones de funcionamiento (es decir, aeróbico o anaeróbico) y tipo de crecimiento microbiano (es decir, fijo o en suspensión). Existen diferentes tipos de tratamiento biológico y su eficacia suele describirse mediante el principio de equilibrio de masas (Fig. 4).

Figura 4
Esquema del balance de masas en un sistema de tratamiento biológico



Nota. Obtenido de Gross et al. (2015)

El tratamiento biológico produce condiciones óptimas para la actividad natural de los microorganismos que descomponen la materia orgánica disponible en el agua. La biodegradación de la materia orgánica por parte de las bacterias se utiliza para dos propósitos principales:

- a. La creación de biomasa (anabolismo) que aumenta la concentración de biomasa a la vez que elimina nutrientes como el fósforo y el nitrógeno

- b. El mantenimiento y la degradación celular (catabolismo) en el tratamiento producen agua y dióxido de carbono (CO_2) en condiciones aeróbicas o metano (CH_4) y dióxido de carbono en condiciones anaeróbicas

La forma y complejidad de las técnicas de tratamiento biológicas varían ampliamente en forma y complejidad, pero el objetivo siempre es el mismo: obtener la degradación de la materia orgánica presente en las aguas grises mediante microorganismos; para lo cual, en muchos de los casos, se aporta oxígeno al sistema (AQUA ESPAÑA, 2016). La forma de aportación de oxígeno varía según el tipo de sistema utilizado, y entre los sistemas más utilizados se encuentran:

- Reactores secuenciales (SBR)

El SBR, por sus siglas en inglés Sequential Biological Reactor, utiliza un solo contenedor para realizar el proceso biológico con fangos activos (*Reactor Biológico Secuencial (SBR)* | *Formación de Ingenieros*, n.d.). El tratamiento se realiza en forma discontinua en varias etapas: llenado, aireación, decantación y separación. La Tabla 1 muestra las ventajas y desventajas de este sistema.

Tabla 1
Ventajas y desventajas del sistema SBR

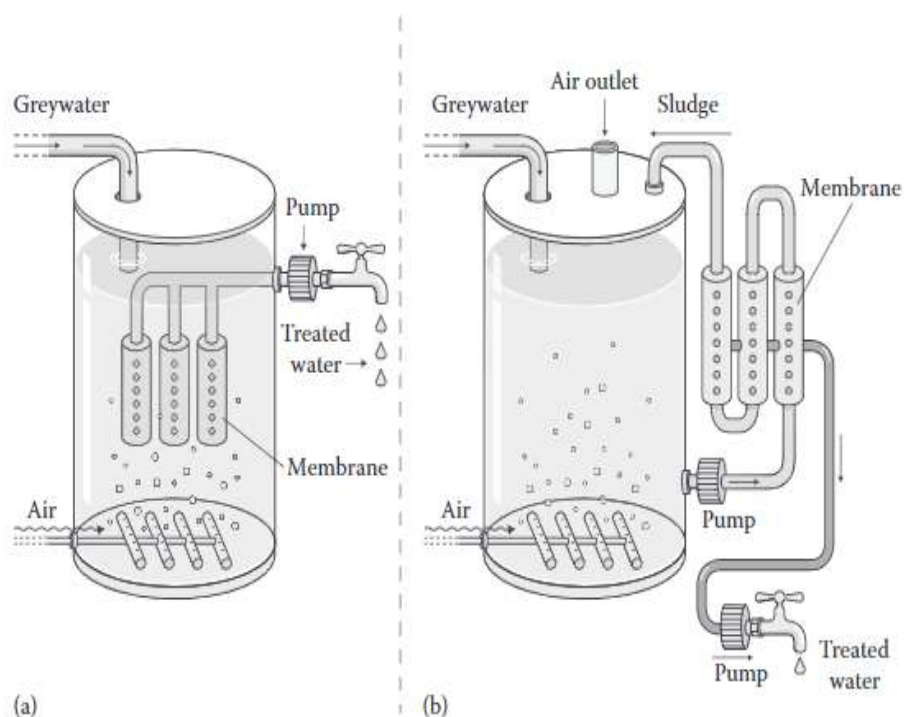
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amplia flexibilidad de funcionamiento para caudales variables. ▪ Menores costos de construcción y operación en comparación con tratamientos biológicos convencionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Existen desequilibrios de la carga hidráulica y la carga contaminante entre depósitos consecutivos, porque el tiempo de llenado depende del caudal de entrada. ▪ Se requiere de personal de operación altamente capacitado. ▪ La eliminación biológica de nutrientes requiere un aporte continuo de carga orgánica.

Nota. Reactor Biológico Secuencial (SBR) obtenido de *Formación de Ingenieros*, n.d.

- Reactores biológicos de membrana (MBR)

Figura 5

Esquema de los sistemas MBR. (a) MBR con membrana sumergida y (b) MBR con membrana lateral externa.



Nota. Obtenido de Gross et al. (2015)

Los MBR, por sus siglas en inglés Membrane Bioreactor, además del proceso biológico, utilizan membranas de microfiltración o ultrafiltración para la separación de los sólidos en suspensión y/o coloides de las aguas grises. La membrana crea una barrera física y se basa en el tamaño de sus poros que sólo permite el paso de ciertas partículas coloidales muy pequeñas, mientras que el resto permanece en la salmuera. Por lo tanto, el permeado se compone principalmente de agua, iones disueltos y partículas muy pequeñas. El sistema MBR es una mejora del proceso habitual de lodos activados, ya que la biomasa se separa del efluente tratado mediante membranas en lugar de mediante sedimentación (Fig. 5).

Tabla 2
Ventajas y desventajas del sistema MBR

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad para tratar un gran volumen de agua con bajo tiempo de retención hidráulica. ▪ Tiempo de retención de sólidos relativamente largo, lo que permite reducir la producción de lodos. ▪ Activación a bajas concentraciones de oxígeno con potencial de nitrificación y desnitrificación simultáneamente en sistemas diseñados para un tiempo de retención de sólidos largo. ▪ Efluente de alta calidad en términos de turbidez, bacterias, SST y DBO₅. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altos costos de construcción. ▪ Incertidumbre sobre la verdadera duración de las membranas. ▪ Alto costo de mantenimiento de las membranas (limpieza y sustitución). ▪ Alto consumo de energía.

Nota. Obtenido de Gross et al., (2015)

El MBR permite implementar el proceso de lodos activados de forma compacta. Por lo tanto, esta implementación puede aplicarse para la reutilización in situ de aguas grises en zonas densamente pobladas o en instituciones públicas como instalaciones deportivas y edificios de oficinas. Además, la separación de la membrana evita el lavado de la biomasa como resultado de una alta descarga momentánea, que es típica en la producción de aguas grises. Sin embargo, hay que considerar que también tienen algunas desventajas (Tabla 2).

- Sistemas biológicos naturalizados

Utilizan un determinado tipo de vegetación para la aportación natural de oxígeno al agua, que favorece a los microorganismos. Estos microorganismos se encuentran en forma de una biocapa sobre un sustrato que está en contacto con el agua a tratar (AQUA ESPAÑA, 2016).

2.2.4.5. Desinfección

La desinfección es el proceso de eliminación de organismos patógenos en el agua y se consigue mediante su inactivación en el agua o su eliminación física del agua. Aunque los microorganismos patógenos son el objetivo de la desinfección, son las bacterias indicadoras las que más se utilizan para evaluar la calidad microbiana del efluente desinfectado. Esto se debe a que la detección y enumeración de todos los patógenos de interés en las aguas es un proceso costoso y que requiere mucho tiempo, además de ser inviable para los análisis de rutina. Los coliformes totales y fecales, la *Escherichia coli* y los enterococos son las bacterias indicadoras más utilizadas.

Las tecnologías de desinfección pueden clasificarse básicamente como sistemas químicos y físicos. Los principales desinfectantes químicos son los halógenos, de los cuales el cloro es la forma predominante, y el ozono. Las tecnologías de desinfección física incluyen las que funcionan mediante la entrada de energía en el agua, como la luz ultravioleta (UV) y la energía de ultrasonidos, y las que separan físicamente los microorganismos del agua, mediante la filtración a través de un medio o una membrana (Winward, 2007).

a. Desinfección química

La desinfección química consiste en añadir al agua un compuesto tóxico para los microorganismos, provocando su inactivación. Los desinfectantes químicos más comunes son el cloro y el ozono, que son productos químicos altamente oxidantes y se cree que causan la inactivación microbiana por oxidación directa de los microorganismos, provocando daños en las membranas celulares, el ADN, las proteínas y las enzimas. El grado de inactivación microbiana viene determinado por la dosis de desinfectante aplicada, que es una función tanto de la concentración química como del tiempo de exposición. La eficacia de la desinfección química se ve afectada por la calidad del agua a la que se aplica el desinfectante. La materia orgánica o inorgánica puede reaccionar con el desinfectante, desactivándolo e impidiendo su uso para la inactivación de los microorganismos, lo que se conoce como "demanda" de desinfectante y es responsable de una fase de retardo, que suele observarse cuando se aplican desinfectantes químicos a las aguas. El material particulado en el agua puede afectar a la desinfección química al proteger a los microorganismos incrustados en las partículas o agregados del desinfectante aplicado (Winward, 2007).

- Cloro

El cloro se utiliza en varias formas para desinfectar las aguas residuales. Entre ellas se encuentran el cloro gaseoso o líquido (Cl_2), el hipoclorito de sodio o de calcio (NaOCl o Ca(OCl)_2), el dióxido de cloro (ClO_2) y las cloraminas (principalmente NH_2Cl y NHCl_2). Es poco probable que el cloro (Cl_2) y el dióxido de cloro sean desinfectantes adecuados para la reutilización descentralizada de las aguas urbanas debido a los problemas de seguridad y de costes relacionados con su generación, manipulación y almacenamiento. Para la reutilización, el hipoclorito de sodio o de calcio son los más adecuados porque el cloro libre (como HOCl) suele requerir una concentración más baja y un tiempo de contacto más corto para proporcionar un nivel de inactivación microbiana equivalente al de las cloraminas. Una ventaja significativa del hipoclorito de calcio es su disponibilidad en forma sólida, como gránulos comprimidos o tabletas, lo que facilita su manejo y es especialmente adecuado para los sistemas de reutilización a pequeña escala.

El cloro ha demostrado ser eficaz para la desinfección de las aguas de reutilización. Algunos investigadores aplicaron la desinfección con cloro ($\sim 42\text{-}84\text{mg}\cdot\text{min}\cdot\text{L}^{-1}$) a efluentes de aguas grises tratadas de calidad variable, observando una inactivación completa de los coliformes fecales y la ausencia de rebrote hasta una semana de almacenamiento. Sin embargo, se observó un rebrote de bacterias heterótrofas al cabo de una semana, cuando los residuos de cloro habían descendido a $< 0,3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El crecimiento heterotrófico fue mayor en los efluentes de aguas grises de peor calidad (Winward, 2007).

- Ozono

El ozono es oxígeno atómico (O_3) y suele producirse introduciendo gas de oxígeno con una descarga eléctrica, dividiendo las moléculas de oxígeno en átomos, que luego se combinan con las moléculas de oxígeno restantes para formar ozono. El ozono es altamente reactivo y su uso en el agua conduce a la producción de especies de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), que son potentes oxidantes no específicos. El ozono reacciona con los componentes de las células bacterianas, incluido el ADN, para causar su inactivación, y se ha

demostrado que causa la inactivación de los virus al romper la cápside proteica e interrumpir la adsorción a las células huésped. El alto poder oxidativo del ozono significa que, además de proporcionar desinfección, también puede mejorar significativamente la calidad general de las aguas residuales mediante la oxidación de sustancias orgánicas y la reducción de la turbidez, el olor y el color.

Un problema importante de la desinfección con ozono es la posibilidad de que vuelvan a aparecer bacterias tras la desinfección. El ozono decae con el tiempo y al reaccionar con las impurezas del agua, no deja ningún desinfectante residual. Además, el ozono puede aumentar la biodisponibilidad de la materia orgánica en las aguas residuales como resultado de la oxidación de compuestos no biodegradables anteriormente y también puede aumentar el fósforo microbiano disponible, aumentando el potencial de crecimiento de los microbios heterótrofos (Winward, 2007).

b. Desinfección física

Los procesos de desinfección física implican la adición de energía al agua para provocar la inactivación microbiana, como es el caso de la luz ultravioleta y los ultrasonidos, o la separación mecánica de los microorganismos del agua mediante la filtración a través de un medio o una membrana. La calidad del agua, concretamente la materia orgánica y las partículas, también influye en la mayoría de los procesos de desinfección física, pero de forma diferente a los procesos de desinfección química.

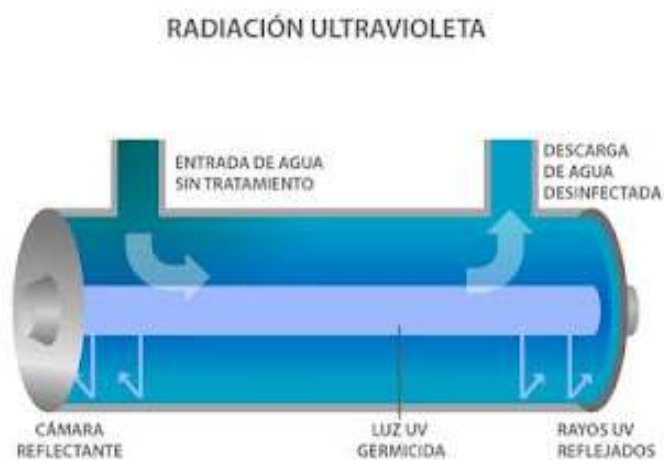
- **Luz ultravioleta (UV)**

Es una radiación electromagnética que desinfecta el agua dañando el material genético de los microorganismos (Fig. 6). La luz UV de interés para la desinfección tiene una longitud de onda de entre 220 y 320 nm y es en gran medida radiación de onda corta, o UV-C. Las lámparas UV de media presión producen una amplia gama de radiación dentro de este rango, mientras que las lámparas UV de baja presión emiten luz UV con una única longitud de onda de 254 nm. La dosis UV aplicada (o fluencia) se caracteriza tradicionalmente en términos de energía por superficie, o $\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, y es un producto de la intensidad UV media (tasa de fluencia) ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$) multiplicada por el tiempo de exposición

en segundos. Los rayos UV son atenuados por las sustancias que absorben los rayos UV en el agua, que reducen la transmitancia de los rayos UV a través del agua y, por consiguiente, afectan a la dosis que reciben los microorganismos. Por lo tanto, la transmitancia UV del agua que se va a desinfectar se tiene en cuenta a la hora de calcular la intensidad UV media aplicada al agua (Winward, 2007).

Los componentes de las aguas urbanas pueden influir en la eficacia de la desinfección con UV. La presencia de sustancias que absorben la radiación UV, como la materia orgánica y el hierro, reduce la dosis recibida por los microorganismos objetivo al absorber la luz UV y reducir la transmitancia de la radiación UV a través del agua. La dosis UV se eleva aumentando la intensidad de la luz o aumentando el tiempo de exposición, lo que se consigue reduciendo el flujo de agua a través del reactor UV (Winward, 2007).

• **Figura 6**
Desinfección UV



Nota. Sistemas de Desinfección de Agua Mediante Luz Ultra Violeta obtenido de PureWater Colombia | Tecnología En Tratamiento de Aguas], n.d.)

- Ultrasonido

El ultrasonido es un sonido de alta frecuencia, superior a 20kHz, que cuando se aplica al agua, induce la cavitación (la formación y el colapso de cavidades dentro de un líquido), creando regiones de alta presión y temperatura. La inactivación microbiana se produce por la alteración física de las células, la producción de calor y la formación de radicales libres. Algunos estudios investigaron el uso de ultrasonidos para la desinfección de aguas residuales y demostraron que el 52% de la inactivación de las bacterias coliformes fecales podía atribuirse a la desinfección térmica, y el 36% a la disrupción mecánica de las células por cavitación. La inactivación microbiana por ultrasonidos se produce por lisis celular y por daños en el ADN. Los ultrasonidos pueden inactivar una serie de patógenos bacterianos, como E. coli y Salmonellaspp. en diversos líquidos; sin embargo, los aparatos de ultrasonidos y las condiciones de funcionamiento utilizadas varían considerablemente, lo que dificulta las comparaciones directas del rendimiento (Winward, 2007).

La eficacia de la desinfección por ultrasonidos para los virus parece variar según el tipo de virus. Una investigación sobre el efecto de la calidad de las aguas residuales en la desinfección por ultrasonidos no reveló ningún impacto significativo de los parámetros, incluidos el SST, la DBO, el COT, el pH y la concentración inicial de coliformes fecales, en la eficacia de la desinfección.

Los ultrasonidos pueden ser una tecnología de desinfección alternativa adecuada para las aguas de baja calidad en las que la desinfección por cloro o UV no es práctica debido a la gran cantidad de sustancias orgánicas y sólidos en suspensión. El uso de los ultrasonidos en combinación con otro desinfectante convencional es más prometedor. De hecho, la acción de los ultrasonidos para desintegrar los sólidos en suspensión y dañar los microorganismos puede mejorar la eficacia de la desinfección cuando se utiliza junto con el cloro o la luz ultravioleta (Winward, 2007).

2.2.5. Normativa peruana relacionada al tratamiento y aprovechamiento de aguas grises

Hasta el momento, en el Perú no se cuenta con el marco legal y normativo específico y necesario que indique los parámetros que debe cumplir el efluente de una planta de tratamiento de aguas grises, específicamente, para su reúso en la descarga de inodoros y/o urinarios. Es por ello, que se han considerado algunos indicadores de países que sí tienen normativa al respecto (Tabla 3).

Tabla 3
Normativa internacional de calidad de agua para el uso en inodoros

Parámetro	Unidades	China	USA	Canadá	UK	Italia	Israel
pH		6 - 9	6 - 9	--	5 - 9.5	6 - 9	--
Olor		No es desagradable	--	--	--	--	--
Color	grados	30	--	--	--	--	--
Turbiedad	NTU	5	2	5	10	--	--
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	--	--	20	10	10	10
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	--	--	--	--	100	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	10	10	20	--	20	10
Nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	10					
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	--	--	--	--	15	--
Fósforo Total (PT)	mg/L	--	--	--	--	2	--
E.Coli	cfu/mL	300	--	--	--	100	--
Coliformes fecales	cfu/mL	--	No se detecta	200	1000	--	--
Cloro residual	mg/L	Después de 30 min de contacto, Cl ₂ ≥ 1, Cl ₂ del final de la tubería ≥ 0.2	> 1	> 0.5	< 2	--	--

Nota. Obtenido de Ren et al. (2020)

A pesar de no contar con reglamentación específica, muchos proyectos de reúso de aguas residuales, optan por cumplir con los Estándares de calidad ambiental para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). En este caso, se sugiere considerar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 1 correspondiente a uso poblacional y recreacional; Subcategoría B para Aguas superficiales destinadas para recreación; y tipo B2 Contacto secundario. Esto debido a que las aguas grises tratadas se podrían encontrar, en algún momento, en contacto con las personas, ya sea de manera directa o indirecta.

Las bacterias y patógenos contenidas en las aguas grises tratadas pueden esparcirse por todo el baño al momento de jalar la palanca del inodoro, contaminando los servicios higiénicos y poniendo en riesgo la salud de las personas, originando enfermedades, malos olores, etc (*Tratamiento de Aguas Grises y Su Reutilización - Flowen, n.d.*). Por este motivo, se recomienda usar los parámetros más conservadores de la Tabla 3.

2.3. Definición de Términos

2.3.1 Aguas grises claras o ligeras

Las aguas grises son aquellas que vienen directamente del uso doméstico, como las del lavado de ropa, utensilios, las del baño, exceptuando las de los Inodoros, generalmente se descomponen más rápido que las otras y tienen mucho menos nitrógeno y fósforo. (*Saavedra, 2017*)

2.3.2 Aguas grises oscuras

Estas son las producidas en los inodoros, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano en su mayoría. (*Rojas, 2014*)

2.3.3 Agua pluvial

Son las aguas provenientes de la lluvia, estas aguas por sus características son más libres de impurezas. (*Rojas, 2014*)

2.3.4. Agua potable

Se denomina agua potable o agua apta para el consumo humano al agua que puede ser consumida sin restricción para beber o preparar alimentos. (*Rojas, 2014*)

2.3.5. Agua recuperada

También denominada agua reciclada, es el agua residual tratada que puede ser usada para diferentes fines, como riego de jardines y áreas verdes, descarga de inodoros, etc. (*Reclaimed Wastewater | U.S. Geological Survey, n.d.*)

2.3.6. Aguas residuales

Las aguas de composición variada proveniente de las descargas de usos industriales, municipales, comerciales, de servicio, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. (*Rojas, 2014*)

2.3.7 Costo

Se define como el equivalente monetario de los bienes o servicios consumidos en el proceso de producción. (*Begoña 2006*).

2.3.8. Escasez

El concepto sería que las necesidades del ser humano son múltiples y susceptibles de infinito desarrollo, pero los medios mediante los cuales los humanos satisfacen estas necesidades son limitados y por lo tanto existe una escasez de recursos para poder llevar a cabo esta satisfacción de necesidades. Esta es la definición y base conceptual que subyace a toda la economía neoclásica (*Molina y Valenzuela, 2006*)

2.3.9 Eutrofización

Es un proceso provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, que hace que plantas, algas, y demás organismos crezcan en demasía. Mientras estos organismos crecen y se pudren, consumen grandes cantidades de oxígeno disuelto y generan gran cantidad de materia orgánica. Esta situación produce la pudrición del agua y mata a los demás animales que viven en ella (*Eutrofización: Causas, Consecuencias y Soluciones | IAgua, n.d.*)

2.3.10. Institución Educativa

La Institución Educativa, como comunidad de aprendizaje, es la primera y principal instancia de gestión del sistema educativo descentralizado. En ella tiene lugar la prestación del servicio. Puede ser pública o privada. La Institución Educativa, como ámbito físico y social, establece vínculos con los diferentes organismos de su entorno y pone a disposición sus instalaciones para el desarrollo de actividades extracurriculares y comunitarias, preservando los fines y objetivos educativos, así como las funciones específicas del local institucional. (*Ley 28044, Ley General de Educación*).

2.3.11 Red de Distribución

Conjunto de tuberías principales y ramales distribuidores que permiten abastecer de agua para consumo humano a las viviendas. (*Reglamento Nacional de Edificaciones-RNE, 2010*)

2.3.12 Reutilización

Es la aplicación del agua residual o regenerada en un uso beneficioso, destaca que indistintamente se puede reutilizar agua ya usada o regenerada. El “reciclaje de agua”, en contraste con la reutilización, normalmente involucra a un usuario, para lo cual el efluente es captado y reconducido para ser nuevamente empleado en el uso original (Asano, 1991).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, debido a que se empleará los conceptos teóricos ya establecidos y presentes en la actualidad para dar solución al problema existente en la zona de estudio. “La investigación aplicada busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática. Está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal.” (Borja, 2012, p.10).

El nivel de investigación es descriptivo, ya que se examinará los fenómenos existentes, para poderlos caracterizar, detallar e interpretar. “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretende medir y recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren...” (Hernández, 2014, p.80).

En la presente investigación se pretende especificar las cantidades y características de las aguas grises producidas en la Institución Educativa Emblemática Coronel Bolognesi (Variable Independiente), con el propósito de conocer e interpretar la disminución de consumo de agua potable (Variable Dependiente) que generaría el reúso de dichas aguas grises.

3.2. Población y/o muestra de estudio

La población son las Instituciones Educativas de la Provincia de Tacna, donde la muestra será la Institución Educativa Emblemática “Coronel Bolognesi” – Tacna.

La Institución Educativa Emblemática “Coronel Bolognesi” se encuentra ubicada en la calle Modesto Molina 817, Provincia de Tacna; a una altitud de 562 msnm, latitud 18° 0'19.16"S y longitud 70° 15'2.49"O.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
<u>Variable independiente:</u> Aprovechamiento de aguas grises y pluviales	Reutilización de aguas grises (aguas residuales, recolectadas por separado del alcantarillado, generadas por duchas, tinas, lavamanos, lavaplatos, lavadoras y lavaderos; excluyendo a las aguas residuales generadas en cocinas) y cosecha de agua de lluvia para ahorro de agua potable, protección de las reservas de agua subterránea y reducción de la carga de aguas residuales (Gallo, 2010; Silva et al., 2019).	Caracterización de las aguas grises y pluviales	Parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas grises y pluviales.
		Tratamiento de las aguas grises y pluviales	Eficiente remoción de contaminantes y patógenos
<u>Variable dependiente:</u> Disminución de consumo de agua potable	Ahorro de agua potable en edificaciones mediante el aprovechamiento de fuentes complementarias de agua (aguas grises, pluviales, condensadas, entre otras) (Gallo, 2010).	Demanda de agua potable	Demanda total de agua potable en toda la IEE. Demanda de agua potable en los inodoros y urinarios.
		Oferta de aguas grises y pluviales	Producción de aguas grises en lavamanos. Agua de lluvia aprovechable.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La técnica para la recolección de datos será la observación, debido a que se empleará la percepción intencionada de la realidad, con la finalidad de tomar apuntes de las condiciones actuales de la zona de estudio. “La observación consistirá en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables a través de un conjunto de dimensiones e indicadores.” (Valderrama, 2013, p.194).

Para el desarrollo de la presente tesis se emplearon los siguientes instrumentos:

Instrumentos guía:

- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones
- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial

Instrumentos de ingeniería:

- AutoCAD

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Tratamiento de aguas grises y pluviales

3.5.1.1. Caracterización de las aguas grises y pluviales

Para caracterizar las aguas grises y pluviales producidas en la IEE Coronel Bolognesi, sería necesario tomar muestras y analizar los diferentes parámetros; sin embargo, por encontrarnos en periodo vacacional y emergencia sanitaria por COVID 19, no es factible. Por consiguiente, la caracterización se realizará en base a estudios e investigaciones previas.

Hay que tener en cuenta que, para que un agua residual se considere biodegradable, los organismos que van a degradar la materia orgánica deben tener las condiciones y nutrientes necesarios que aseguren su respectiva subsistencia y

reproducción; por lo tanto, la mayoría de aguas grises se consideran poco biodegradables, ya que no cuentan con estos nutrientes en cantidades adecuadas (*Tratamiento de Aguas Grises y Su Reutilización - Flowen*, n.d.).

Además, las características de las aguas grises son muy variables y pueden clasificarse como de baja carga contaminante (aguas grises claras o ligeras) o de alta carga contaminante (aguas grises oscuras). Estas características se ven influenciadas por el estilo de vida, el comportamiento social y cultural de los usuarios, la disponibilidad de agua y su consumo. Es necesario caracterizar las aguas grises con respecto a sus parámetros físicos, así como el contenido de compuestos químicos y microorganismos antes de su reutilización (Alsulaili & Hamoda, 2015).

Las aguas grises recogidas en las escuelas se clasifican como aguas grises ligeras y contienen niveles mucho más bajos de materia orgánica y nutrientes en comparación con las aguas grises residenciales y las aguas residuales domésticas (Alsulaili & Hamoda, 2015).

Dado que las aguas grises recogidas en los lavamanos se ven afectadas por el uso de jabón o productos jabonosos para lavarse las manos, su calidad puede variar según la fuente.

La Tabla 5 muestra algunas características de las aguas grises, recogidas de diferentes estudios realizados a nivel mundial, apreciándose la variabilidad de estas debido a los factores antes mencionados.

Por otro lado, también es necesario caracterizar las aguas pluviales a ser aprovechadas para la descarga de inodoros. Por las mismas razones expuestas anteriormente, esta caracterización estará basada en la literatura e investigaciones previas (Tabla 6).

Tabla 5
Caracterización de las aguas grises

Parámetro	Unidades	Aguas grises		
		Oscuras ^a	Colegios en Kuwait	Claras ^b Otra literatura
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	40 - 180	6,4 - 170	77 - 645
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	24 - 83	0 - 65	129 - 173
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	No indica	5,8 - 7,8	No indica
Nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	0,86 - 12,65	No indica	6,6
Turbiedad	NTU	15 - 70	0,07 - 36,4	59,8
Conductividad	mS/cm	No indica	177 - 1446	437
Recuento heterotrófico en placas (HPC)	cfu/mL	2 - 4,4 x 10 ⁵	No indica	No indica
pH		7,5 - 8,0	5,95 - 8,69	7,1 - 7,6
Sólidos totales	mg/L	No indica	110 - 466	777
Sólidos suspendidos	mg/L	No indica	2 - 146	58 - 78
Sólidos disueltos	mg/L	No indica	90 - 300	279 - 565
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes totales	NMP	No indica	89 - 352	2,0 x 10 ²
Coliformes fecales	NMP	No indica	0	5,1 x 10 ⁶
E.Coli	cfu/mL	3 - 6 x 10 ²	No indica	No indica

^a *Nota.* Obtenido de *Ortiz Forero & Velandia Bernal (2017)*. En este estudio, los ensayos se realizaron a aguas grises oscuras.

^b *Nota.* Obtenido de *Alsulaili & Hamoda, (2015)*. En este caso, se están tomando los datos de los ensayos realizados a aguas grises claras producidas en colegios.

Tabla 6
Caracterización de las aguas pluviales

Parámetro físico	Unidades	Agua pluvial	
		Huancayo, Perú ^a	Cerro de Pasco, Perú ^b
Color aparente	PCU		Transparente
Olor y sabor	--		
Turbiedad	NTU	0,5	0,89
pH	--	6,92	7,01
Sólidos suspendidos	mg/L		
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,5	
Conductividad	μS/cm	69,3	2,12 ^c

Nota: Tener en consideración que estas caracterizaciones corresponden a zonas climáticas diferentes de la del presente estudio.

^a Fuente: Ruiz Mendoza, (2019)

^b Fuente: Muñoz Fernandez, (2019)

^c μS/cm³

3.5.1.2. Elección del posible proceso de tratamiento de aguas grises y pluviales

Las aguas grises ya tratadas, de una u otra forma, tendrán contacto con las personas, debido a que las bacterias y patógenos pueden contaminar el espacio donde se encuentra el inodoro o urinario cuando se realiza la descarga de éstos (*Tratamiento de Aguas Grises y Su Reutilización - Flowen*, n.d.). Por ello, se debe garantizar un efluente con estándares de calidad óptimos que no generen malos olores ni afecten la salud de los usuarios.

Para la elección del sistema de tratamiento adecuado para las aguas grises y pluviales se debe tomar en cuenta:

- El caudal a tratar, considerando otros aportes de agua a recuperar (pluviales, atmosféricas, etc)

Debido a la lejanía entre baterías de baño (pabellones bastante alejados unos de otros), se considerarán diferentes sectores con pequeños caudales.

- Características de las aguas grises a tratar
- La calidad requerida final del efluente, relacionada al uso que se dará al agua tratada.

Como nuestro país no cuenta con una normativa específica para la calidad de agua de reúso a ser usada en la descarga de inodoros, se ha tomado como referencia los requerimientos más conservadores de la Tabla 3.

- El área disponible para la instalación de la planta de tratamiento.

Comúnmente, estas plantas de tratamiento se instalan en los sótanos, pero como la IEE no cuenta con sótanos, se propone la ubicación de éstas en áreas seguras, donde no genere riesgos a la salud y bienestar de los estudiantes. (ver Anexo 2)

- Cantidad de horas de operación del sistema por día.

En el caso de la IEE Coronel Bolognesi, la generación de aguas grises se da durante casi todo el día, debido a que se cuenta con tres turnos de estudio (mañana, tarde y noche).

- La poca biodegradabilidad de las aguas grises, que hace que los procesos biológicos sean poco efectivos y complejos de operar.
- Factores económicos.

Entonces, considerando las normativas internacionales para el reúso de aguas en descarga de inodoros (Tabla 3) y de acuerdo a la revisión de la literatura (Tabla 7), se sugiere implementar un sistema de tratamiento con métodos físicos, porque no requieren de operadores altamente calificados y debido a la baja concentración de materia orgánica en las aguas grises producidas por los centros educativos. Dentro de este sistema, se debe considerar la desinfección del efluente inmediatamente antes de su reúso en los inodoros; esto para disminuir la posibilidad de que se produzca un rebrote de microorganismos.

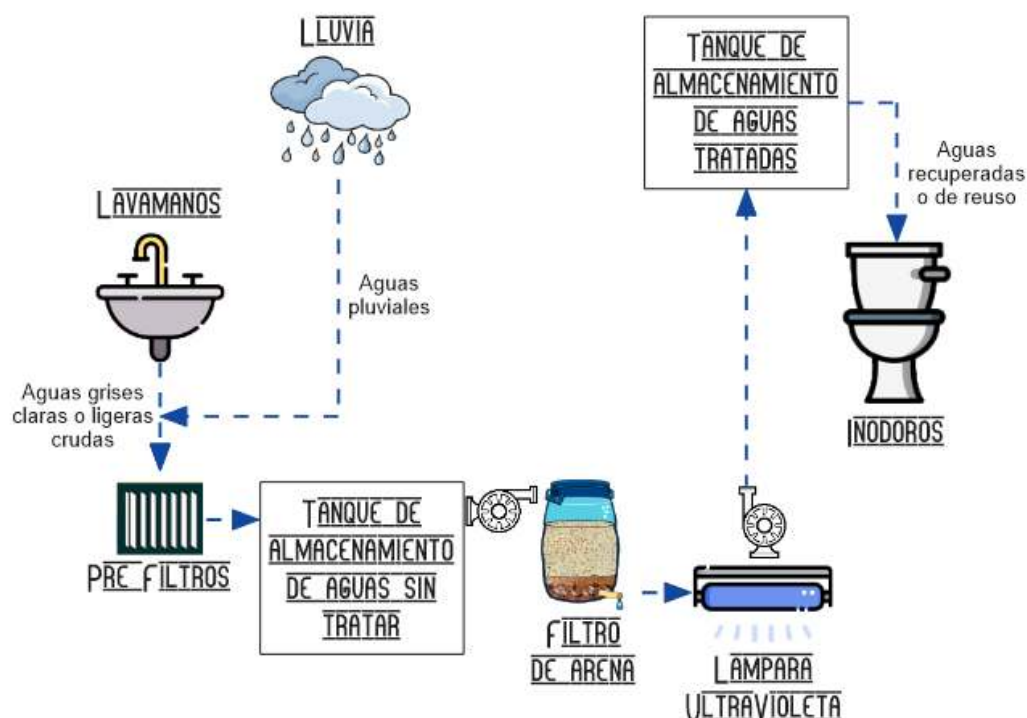
Tabla 7*Tratamiento de aguas grises estudiados*

Tratamiento	El tratamiento físico-químico tenía una etapa de filtración a través de un filtro tipo calcetín de nylon (malla de 0,3 mm y 1 m ² de superficie de filtración), sedimentación y desinfección con hipoclorito de sodio.	Tratamiento biológico con biorreactor de membrana (MBR) más desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO)	El sistema de tratamiento físico-químico consta de lo siguiente: cribado, filtración de arena y unidad de lámpara UV para la desinfección.
Origen de las AG	Lavamanos y tinas de hotel	Duchas y lavanderías de departamentos.	Lavatorios y fuentes de colegios.
Detalles	El agua tratada se almacenaba inicialmente en un depósito a nivel del suelo (4,5 m ³) y desde allí se elevaba mediante una bomba automática a un depósito en la terraza, que también podía alimentarse con agua potable, en caso necesario. Este depósito estaba interconectado con otros seis depósitos (volumen total de la terraza: 4 m ³). Esta interconexión permite controlar fácilmente el volumen de almacenamiento y, en consecuencia, el tiempo de permanencia del agua tratada, en función del consumo. El volumen medio de los inodoros era de 6L para cada uso. El sistema funcionaba a temperatura ambiente (la temperatura del agua oscilaba entre 26 y 32°C).	El reactor MBR era de plexiglás (420 × 250 × 100 mm; volumen efectivo total, 7,5 L). Después de elevar el GW con una bomba sumergible, se eliminaron los pelos y las partículas en suspensión con un filtro de 5 mm. A continuación, el GW entró en un tanque de reacción de RBM que contenía dos membranas planas. Las membranas planas se utilizaron para el módulo de membrana, y la membrana plana estaba hecha de fluoruro de polivinilideno (PVDF).	El AG se bombeó desde el depósito a una criba METALife y, a continuación, a un filtro de presión autolimpiante con un cartucho de acero inoxidable AISI 316. El filtro es cilíndrico con una carcasa exterior de Polyglass estructural de Pentair y una carcasa interior de PE. El agua filtrada fue tratada con luz UV utilizando una unidad Sterilight S12Q-PA con una lámpara UV de 39 vatios modelo S36RL. Tras el tratamiento con irradiación UV, el agua se bombea a un tanque de almacenamiento de 500 litros de capacidad antes de su reutilización.
Fuente	2004	2020	2017
Año			
Título	Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain)	Graywater treatment technologies and reuse of reclaimed water for toilet flushing	Treatment and potential reuse of greywater from schools: a pilot study

La Figura 7 muestra el sistema de tratamiento de aguas grises y pluviales sugerido para la IEE Coronel Bolognesi por las razones mencionadas en los párrafos anteriores. Se propone recolectar las aguas grises en un tanque de almacenamiento. Previo a su almacenamiento, se propone colocar un pre filtro o criba de remoción de sólidos de un tamaño menor, como pequeñas envolturas, algunos restos de comida, etc., que los estudiantes podrían desechar en los lavamanos. Seguidamente, las aguas grises serían bombeadas hacia un filtro de arena (tratamiento físico) y posteriormente la lámpara de luz ultravioleta para la desinfección del agua (desinfección física). Se está optando por la desinfección con lámpara UV debido a que ha mostrado mejores resultados y para evitar el constante monitoreo de cantidades adecuadas de cloro residual en el agua recuperada (Alsulaili et al., 2017). Posterior a la desinfección, el agua tratada se bombeará y almacenará en un tanque ubicado en la azotea de los pabellones designados, de donde abastecerá a los inodoros por gravedad.

Figura 7

Sistema de tratamiento de aguas grises y pluviales sugerido para la IEE Coronel Bolognesi



En este sistema, la filtración eliminaría la mayor parte de los Sólidos en Suspensión y, en menor medida, la DBO y la DQO asociadas a los Sólidos en Suspensión Totales

(es decir, los orgánicos presentes en forma de suspensión). Por el contrario, la mayoría de los productos orgánicos (DBO y DQO) se eliminarían con la desinfección, ya sea mediante UV o cloración. Adicionalmente, habría que tener especial cuidado en el correcto cálculo de los caudales de diseño del sistema de tratamiento, pues a medida que se incrementa el caudal, la eficacia del tratamiento disminuye, especialmente después de la desinfección.

3.5.2. Estimación de los consumos de agua

Para obtener la demanda real de agua en la IEE Coronel Bolognesi, sería necesario instalar hidrómetros, lo cual, por encontrarnos en emergencia sanitaria por COVID 19, no es factible. Por consiguiente, la demanda de agua será estimada de acuerdo a la normativa vigente y la literatura existente.

3.5.2.1. Consumo de agua potable en toda la institución educativa

Para la estimación del consumo o demanda de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi se han considerado diferentes tipos de dotaciones de acuerdo a los planos de planimetría de la IEE y el Compendio Estadístico 2020 (DRET, 2020). Asimismo, se han estimado las dotaciones diarias mínimas de acuerdo a la IS.010 (RNE, 2006).

3.5.2.2. Consumo de agua de los inodoros y urinarios

La Tabla 8 muestra la cantidad de inodoros y urinarios instalados en la IEE Coronel Bolognesi. Considerando que los inodoros instalados fuesen de alta presión, estos consumen aproximadamente 1,7 l/s. La duración media de cada descarga es de 5,09 segundos; por lo tanto, se tiene un volumen por descarga de 8,65 litros (Silva et al., 2019). Asimismo, considerando que los urinarios instalados son los convencionales, estos utilizan aproximadamente 3,79 litros por descarga (Martin & Heaney, 2008; *Urinals* | US EPA, n.d.).

De acuerdo a Silva et al. (2019), una persona utilizará los servicios higiénicos con una frecuencia de 1,25 veces por día. Entonces, se tiene:

- Consumo de agua de los inodoros:

$$C. Inodoros = 8,65 \frac{\text{litros}}{\text{descarga}} \times 1,25 \frac{\text{descarga}}{\text{persona}} / \text{día} = 10,81 \frac{\text{litros}}{\text{persona}} / \text{día}$$

- Consumo de agua de los urinarios:

$$C. Urinarios = 3,79 \frac{\text{litros}}{\text{descarga}} \times 1,25 \frac{\text{descarga}}{\text{persona}} / \text{día} = 4,74 \frac{\text{litros}}{\text{persona}} / \text{día}$$

Tabla 8

Cantidad de inodoros y urinarios en la IEE Coronel Bolognesi

Pabellón	Inodoros	Urinarios
Pabellón "ADM"		
1er nivel	3	1
2do nivel	2	0
3er nivel	0	0
Pabellón "A"		
1er nivel	7	1
2do nivel	7	1
Pabellón "B"		
	0	0
Pabellón "D"		
1er nivel	6	2
2do nivel	0	0
Pabellón "E"		
1er nivel	6	2
2do nivel	0	0
Pabellón "F"		
	0	0
Pabellón "G"		
	0	0
Pabellón "H"		
	0	0
Pabellón "I"		
1er nivel	5	1
2do nivel	7	1
Pabellón "J"		
	13	2
Pabellón "K"		
	1	0
Pabellón "L"		
	0	0
Pabellón "N"		
1er nivel	4	1
Pabellón "Ñ": Auditorio		
1er nivel	6	4
2do nivel	4	0
Cafetería		
1er nivel	3	0
2do nivel	0	0
Total	74	16

Por motivos prácticos, para obtener el consumo total de agua por inodoros y urinarios, se hará una ponderación de acuerdo a la cantidad de aparatos instalados para calcular la cantidad de personas que utilizarán cada uno de ellos.

3.5.3. Estrategias de aprovechamiento de uso de agua

3.5.3.1. Reúso de aguas grises provenientes de lavamanos

Los índices más elevados de generación de aguas grises se observan en los alumnos de primaria, mientras que los más bajos se registran en los alumnos de secundaria, donde los alumnos son más maduros y utilizan el agua de forma más prudente (Alsulaili & Hamoda, 2015).

Para estimar la producción de aguas grises se consideró la frecuencia media de uso de los lavamanos, el tiempo medio de uso, el caudal y el consumo medio, en base a los patrones en resumen realizado por Silva et al. (2019) y Talpur et al. (2020) que se muestra en la Tabla 9. Para la elección de los parámetros de producción de aguas grises, se consideró que la IEE Coronel Bolognesi tiene clases, en sus diferentes niveles, en la mañana, en la tarde y en la noche.

En el presente estudio, sólo se han considerado los lavamanos de los baños, debido a que las aguas grises de los lavabos de las cocinas, de los laboratorios y/o talleres, pueden contener sustancias difíciles de tratar, como grasas y sustancias químicas. Cabe mencionar, que las aguas grises producidas en las duchas tampoco se están contabilizando; esto debido a la falta de información con respecto a su consumo en instituciones educativas y su poco uso.

Tabla 9
Producción de aguas grises de los lavamanos

Aparato	Frecuencia (uso/día/persona)	Tiempo (segundos/uso)	Caudal (l/s)	Consumo (l/d/persona)
Lavamanos	3,17	15,00	0,14	6,66

Adicionalmente, el coeficiente de retorno de los lavamanos se considerará como 0.9, es decir, del volumen de salidas se consume el 10% y el 90% son aguas grises.

- Producción de aguas grises de los lavamanos:

$$P.Lavamanos = 0,9 \times 6,66 \frac{\text{litros}}{\text{persona}} / \text{dia} \times 2241 = 13432,55 \text{ l/d}$$

3.5.3.2. Utilización de agua pluvial

La Tabla 10 muestra las áreas techadas de la IEE. De estas áreas se recolectará el agua de lluvia que será aprovechada para la descarga de inodoros.

Tabla 10
Áreas techadas de la IEE Coronel Bolognesi

Pabellón	Área de techo (m²)
Pabellón "ADM"	883,04
Pabellón "A"	586,36
Pabellón "B"	426,88
Pabellón "D"	936,33
Pabellón "E"	936,32
Pabellón "F"	327,69
Pabellón "G"	355,05
Pabellón "H"	441,88
Pabellón "I"	586,36
Pabellón "J"	86,80
Pabellón "K"	394,82
Pabellón "L"	301,28
Pabellón "N"	85,80
Pabellón "Ñ": Auditorio	710,02
Total	7 058,62

Por otro lado, para conocer la cantidad de agua pluvial de la que se dispondría, se calculó la precipitación anual acumulada registrada en la Estación Meteorológica Convencional Jorge Basadre (Tabla 11). Se optó por utilizar la precipitación total anual debido a la variabilidad estacional de las precipitaciones en el área de estudio, por tratarse de una región árida.

La Estación Meteorológica Convencional Jorge Basadre se encuentra localizada en las coordenadas -18,026667S y -70,250667W, a una altitud de 560 msnm y cuenta con un registro de datos desde el año 1993 a la fecha, es decir, la longitud de la serie temporal de precipitación acumulada anual es de 29 años. Asimismo, los datos de precipitación se descargaron de fuentes oficiales como el Observatorio del Agua de la Autoridad Nacional del Agua (<https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>) y el Servicio

Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>).

Luego de descargar y compilar los datos de precipitación, se realizó un análisis de estos, eliminando primero los datos anómalos u outliers, los cuales fueron identificados mediante la construcción de boxplots (Figura 8 y Figura 9).

Figura 8
Boxplot de datos descargados

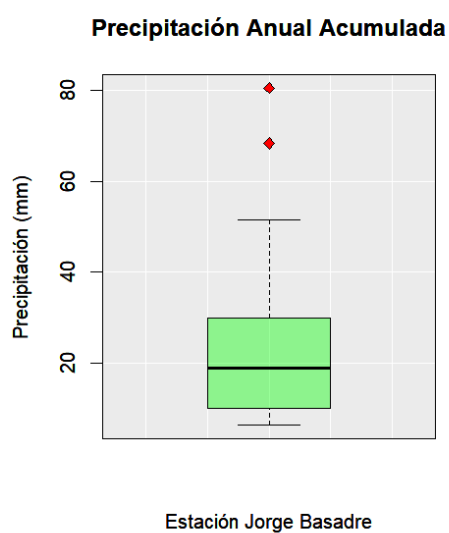


Figura 9
Boxplot de datos corregidos

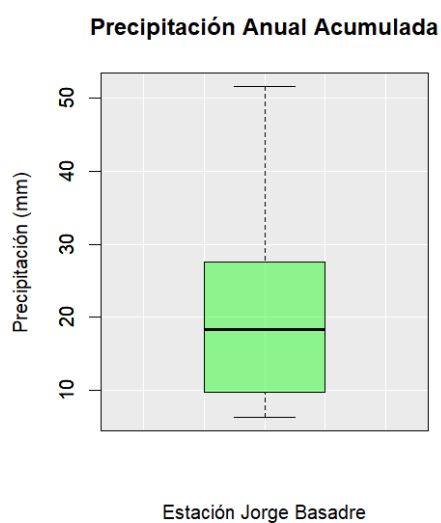


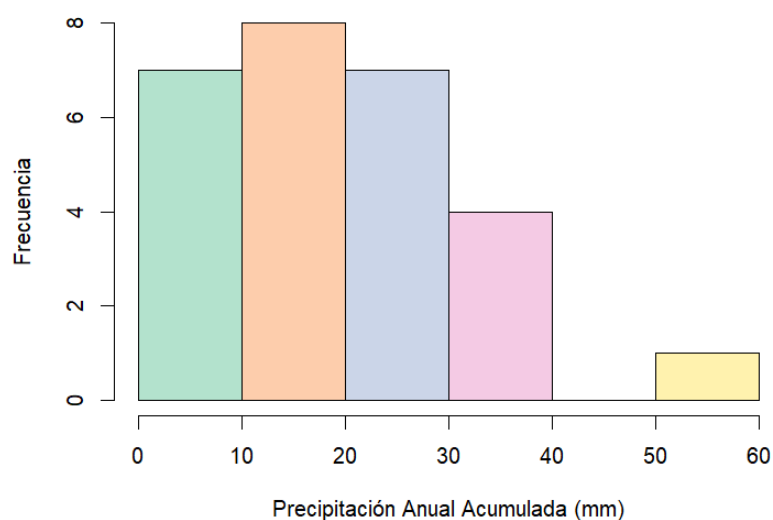
Tabla 11
Precipitación Total Anual en la Estación Jorge Basadre

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Precipitación total anual
1993	0	0	0	0	0	0	7,5	0	0	0	0	0,6	8,1
1994	5,6	0	0	1,3	1	1,6	2,4	4,9	1,5	0,6	0,9	0,7	20,5
1995	0,3	0	6	0	0,1	0	0,8	1,5	2,1	0,4	0	0	11,2
1996	0	0,8	0	0	0	1,8	0,7	5,5	0,5	0	0,2	0	9,5
1997	9	3,4	0	0	5	3,2	10,9	11,7	20,1	4,5	4,4	8,4	80,6
1998	20,2	0,7	0	0	0	0,8	0,8	4,8	1,3	0,9	0	0,4	29,9
1999	0,4	0	0,5	0	0	0	0,9	0	1,7	1,2	1,1	4,3	10,1
2000	5,1	0,5	1,4	0,1	0	9,1	14,2	14,7	1,6	4,7	0,2	0	51,6
2001	1,9	6,4	4,7	1	0	3,8	0,8	2,9	3,8	0,4	0	1,5	27,2
2002	0	0,8	3,7	1,1	0	0,2	13,7	5,5	1,4	1,4	0,1	0	27,9
2003	2,7	0,1	0	0,2	0,2	0	4,6	3,1	5,4	0,2	0,3	0	16,8
2004	0	1,2	0	0	0	0	2,1	4,5	0,6	0,6	0	0	9,0
2005	0,3	0,1	0	0,8	0,5	0	0,4	1,9	4,4	0	0	0,4	8,8
2006	0,4	0	0	0	0	2,5	2,5	5,8	1,9	0	0	0	13,1
2007	0	0,9	S/D	0	0,3	2	1,5	9,7	7	0,4	1,6	0	23,4
2008	2,5	0	1,2	0	0	1,7	0,5	4,1	3,7	1,9	0,3	0,7	16,6
2009	0	0,7	0	0	0	0	2,1	3	3,3	2,2	3,4	3,6	18,3
2010	0,1	0	0	2,2	0,9	2,2	0	0,6	1,5	0,1	0	0,1	7,7
2011	1,4	8,1	0	0	0,9	9,4	5,4	5,9	4,4	0,1	1	1,1	37,7
2012	4,5	2,1	0,7	0,2	0	1,1	1,5	7,6	5,6	3	0	0	26,3
2013	0	0,4	1,2	0	0,2	0,4	0,9	1,9	0,9	0,2	0,2	0	6,3
2014	0	0	0	0	0,3	5,4	1,6	0,9	12,5	0,6	1,7	1,6	24,6
2015	0,6	0,9	1,8	0	3,7	0	3,8	10,8	5,6	7,4	1,8	2,4	38,8

2016	0	S/D	0	0,1	0	0,1	6,1	1,2	0,5	0,1	0	0	8,1
2017	0,1	2	0	0	0,3	4,7	10	2,4	10,6	1,4	6,9	0	38,4
2018	0,1	0,3	0	0	0,5	2,7	5,3	1	0,1	4,2	0,3	0,8	15,3
2019	14,1	8,3	0	0,2	0,4	1,1	6,2	0,3	4,8	3,1	0,9	0	39,4
2020	26,5	25,9	0	S/D	S/D	S/D	0	2,5	0,6	2,2	0,6	10,1	68,4
2021	1,3	0	0	0	1,5	0,3	4,3	3	4,9	2	0	1,7	19,0

Posteriormente, teniendo en cuenta un criterio conservador, se construyó un histograma para determinar cuál es la precipitación anual acumulada más frecuente en la zona de estudio (Figura 10). Se aprecia que la precipitación anual acumulada más frecuente está entre 10 y 20 mm de lámina de agua (15 mm en promedio), por lo que se considerará que, en un año calendario se podría recolectar 15 litros de agua por metro cuadrado de techo.

Figura 10
Histograma de datos corregidos de la Estación Jorge Basadre



El volumen estimado de agua de lluvia a recuperarse se ha obtenido multiplicando la superficie de captación (techos) por la precipitación anual más frecuente en la zona de estudio.

Una parte del volumen del agua precipitada se pierde por diversos factores, entre ellos, la evaporación. Por lo tanto, se utilizó un coeficiente de escorrentía superficial de 0,85 de acuerdo a la Tabla 1.b de la Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial (RNE, 2021). Dicha tabla se utilizó debido a que con los datos de precipitación se obtuvo un periodo de retorno de 10 años para el diseño de drenaje pluvial en la IEE Coronel Bolognesi.

Entonces, utilizando la siguiente ecuación, se calculó el volumen de agua de lluvia que tiene mayores probabilidades de ser recolectado (Silva et al., 2019).

$$V = \frac{P \times A \times C}{1000} = \frac{15 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \times 7058,62 \text{ m}^2 \times 0,85}{1000} = 90 \text{ m}^3/\text{año}$$

Donde:

V: Volumen de agua de lluvia que puede ser recolectada (m³/año)

P: Precipitación total anual (mm/año)

A: Área de captación (m²)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

3.5.4. Estimación de costos de facturación de agua potable

De acuerdo a la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, a la fecha, gran cantidad de colegios estatales mantienen deudas de pago de servicios de saneamiento (*Sunass Detectó 213 Colegios Públicos Con El Servicio de Agua Potable Cortado - Gobierno Del Perú*, n.d.-b). Esta situación obliga a poner más atención en fuentes de agua alternativas que aseguren las condiciones sanitarias mínimas en los colegios del país.

Adicionalmente, se sabe que los colegios públicos cuentan con medidores que permiten obtener el consumo de agua en metros cúbicos. Si bien, no se ha podido acceder a los registros de consumo ni a la facturación de IEE, se sabe que el precio por metro cúbico de agua potable es el mismo en toda la provincia de Tacna. Por lo tanto, se ha calculado un valor promedio de metro cúbico de agua potable de 1,6 soles. Este costo no considera el servicio de alcantarillado ni gastos administrativos.

Las Tabla 12 muestra el monto total que, en teoría, estaría pagando la IEE Coronel Bolognesi por el servicio de agua potable mensualmente. Para el cálculo de este monto se ha considerado un periodo útil de uso de agua potable desde la quincena de marzo a la quincena de diciembre (246 días o 9 meses), ya que en época de vacaciones el consumo es mínimo, aún considerando los posibles cursos vacacionales. Adicionalmente, se verificó que el monto estimado mensual, se aproxima al monto facturado por la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna (Anexo 3).

Tabla 12*Facturación teórica de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi*

Descripción	Consumo (l/d) ¹	Días	Volumen		Costo por m ³ (S/)	Gasto anual de agua potable (S/)	Gasto promedio mensual de agua potable (S/) ²
			litros	m ³			
Agua potable en toda la institución educativa	103773,79	246	25528352,98	25528,35	1,6	40845,36	4538,37

*Nota:*¹ Consumo calculado en la Tabla 5.² Considerando un periodo de 9 meses.

En la Tabla 13 se ha calculado el costo de agua potable que genera el uso de ésta cuando es utilizada para la descarga de inodoros y urinarios. Se puede apreciar que, el costo total anual de agua potable que se usa para la descarga de inodoros y urinarios equivale, aproximadamente, al 21% del gasto total anual de agua potable de la IEE Coronel Bolognesi que incluye todos los usos que se le da a ésta.

Finalmente, la Tabla 14 muestra el costo estimado de agua potable equivalente a la oferta de aguas grises provenientes de los lavamanos de la IEE, así como de las aguas pluviales a ser recolectadas. Se puede apreciar que el costo total anual al que equivalen las aguas a ser reusadas representa el 13%, aproximadamente, del gasto total anual de agua potable de la IEE Coronel Bolognesi que incluye todos los usos que se le da a ésta.

3.5.5. Costos de la implementación del tratamiento de aguas grises

Para la estimación del costo de la implementación de los tres módulos de tratamiento se han usado análisis de costos unitarios de la Revista Costos Perú y precios encontrados en la web.

Se ha considerado la construcción de tres casetas con paredes de drywall y techo de calamina. Adicionalmente, se ha cuantificado los costos de la red de recolección de aguas grises crudas y aguas pluviales, así como la red de distribución de aguas grises tratadas.

3.5.6. Consideraciones de diseño

Debido a que los servicios higiénicos de los pabellones de la IEE Coronel Bolognesi (fuentes de las aguas grises) se encuentran muy distanciados entre sí, se propone la implementación de tres módulos de tratamiento de aguas grises (Fig. 11).

Figura 11

Esquema de la ubicación de módulos de tratamiento de aguas grises

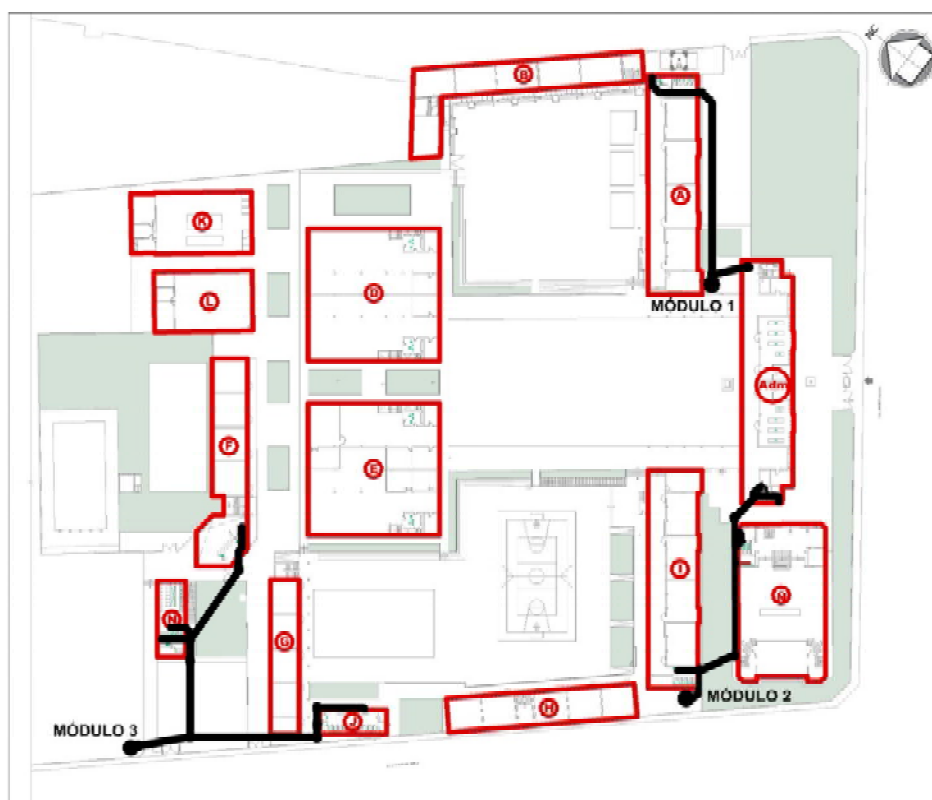


Tabla 13
Estimación del costo

Descripción	Consumo (l/d) ¹	Días	Volumen		Costo por m ³ (S/)	Gasto anual de AP en inodoros (S/)	Gasto promedio mensual de AP en inodoros (S/) ²
			litros	m ³			
Agua potable de los inodoros y urinarios	21 809,35	246	5365100,10	5365,10	1,6	8 584,16	953,80

Nota:

¹ Consumo calculado en la Tabla 7.

² Considerando un periodo de 9 meses.

Tabla 14
Monto estimado del agua gris recuperada

Descripción	Oferta (l/d) ¹	Días	Volumen		Costo por m ³ (S/)	Gasto anual de agua potable (S/)	Gasto promedio mensual de agua potable (S/) ³
			litros	m ³			
Agua de lavamanos recuperada	13 432,55	246	3304407,30	3304,41	1,6	5 287,05	587,45
Agua de lluvia recuperada	---	---	---	90 ²	1,6	144,00	16,00
Total				3394,41		5431,05	

Nota:

¹ Oferta calculada en el Ítem 3.5.3.1.

² Oferta calculada en el Ítem 3.5.3.2.

³ Considerando un periodo de 9 meses.

Los módulos de tratamiento de aguas grises deben estar ubicados en espacios de fácil acceso para su mantenimiento rutinario, evitando su instalación en zonas muy húmedas o en ambientes con productos tóxicos, inflamables, etc. Cada módulo debe estar debidamente señalizado y cercado, para que sean inaccesibles para niños y personas no autorizadas.

Como se mencionó anteriormente, se hace hincapié en la necesidad de instalar pre filtros y/o cribas para la retención de cabellos y sólidos pequeños, tanto en los puntos de desagüe como al ingreso de los módulos de tratamiento. También, se aconseja colocar medidores de agua al ingreso de los módulos para poder contabilizar el volumen real de aguas grises tratado (AQUA ESPAÑA, 2016).

Como no se recomienda almacenar por más de 24 horas las aguas grises tratadas, es que se debe considerar un sistema de rebose que conduzca caudales excedentes hacia la red de alcantarillado. Un almacenamiento prolongado de las aguas grises tratadas podría conllevar a un abundante crecimiento de microorganismos y generar olores desagradables (AQUA ESPAÑA, 2016).

Adicionalmente, se debe contar con una entrada independiente de la red de agua potable que permita mantener, de forma automática, el caudal necesario para la descarga de inodoros, en caso no se cuente con suficiente volumen de agua recuperada o se produzca un corte de energía eléctrica que impida el funcionamiento de las electrobombas de los módulos de tratamiento.

Es primordial realizar charlas informativas a la población educativa, tanto alumnos como docentes y demás, de todos los niveles, para que entiendan la naturaleza del sistema de reciclaje de aguas grises y eviten descargar sustancias químicas u otros contaminantes en los lavamanos pertenecientes al sistema (Fig 12).

Figura 12

Señalización a ser colocada en todos los servicios higiénicos del sistema de reciclaje



Nota. Obtenido de (¿Qué Puedes Hacer? - Acueductospr, n.d.)

Por otro lado, todos los elementos que forman parte del sistema de reúso de aguas grises y pluviales, especialmente los inodoros que harán uso de ellas, deben estar debidamente señalizados para que puedan ser fácilmente identificados (Fig 13).

Figura 13

Ejemplos de señalización en inodoros



**CANALIZACIÓN DE AGUAS GRISES,
CONTIENE AGUAS GRISES,
ATENCIÓN, AGUAS GRISES, etc.**
Ejemplos normalizados

Nota. Obtenido de AQUA ESPAÑA (2016)

Asimismo, las tuberías deberán estar apropiadamente señalizadas durante todo su recorrido para que al pasar de los años estas puedan seguir siendo fácilmente reconocidas y no se confundan con las de agua potable. Por tratarse de aguas provenientes de lavamanos o duchas, éstas tendrán un diámetro de 2”.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

De acuerdo a la caracterización de las aguas grises claras, así como de las aguas pluviales, se ha determinado que el sistema que mejor se adapta a las diferentes consideraciones para la selección de un tratamiento de aguas grises, es un sistema de tratamiento físico, el cual estaría conformado básicamente de pre filtros y una criba, seguida de un filtro de arena, finalizando con la desinfección física del efluente utilizando lámparas de luz ultravioleta. De acuerdo a todos los estudios previos, este sistema cumple con los requisitos que debe tener el efluente para ser utilizado para la descarga de inodoros y urinarios.

Por otro lado, se ha determinado que el consumo teórico anual de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi es de 25 528 352,98 litros (Tabla 15 y Tabla 17), de los cuales, 5 365 100,10 litros (Tabla 16 y Tabla 17) se utilizan anualmente únicamente para la descarga de inodoros y urinarios. Es decir, el agua potable utilizada en inodoros y urinarios corresponde al 21,02 % de agua potable utilizada en general (Tabla 17). Asimismo, se aprecia que la oferta de agua recuperada corresponde al 13,30% del total de la demanda de agua utilizada en el IEE, y que ésta no cubre la demanda total que se requiere para la descarga de inodoros y urinarios.

Tabla 15*Estimación del consumo de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi*

Criterio	Cantidad		Dotación		Consumo (l/día)
Educación primaria (Diurno)	564	alumnos	20	litros/alumnos/día	11280
Educación secundaria (Diurno y tarde)	1379	alumnos	25	litros/alumnos/día	34475
CEBA (Nocturna)	153	alumnos	25	litros/alumnos/día	3825
Oficinas					
Docentes	120	habitante	20	litros/habitante/día	2400
Administrativos	25	habitante	20	litros/habitante/día	500
Restaurantes (Cafetería)	36	asientos	50	litros/día/asiento	1800
Estacionamientos	421,25	m ²	2	litros/m ² /día	842,49
Riego de jardines	4459,70	m ²	5	litros/m ² de jardín/día	22298,50
Riego de campo deportivo	7140	m ²	2	litros/día/m ²	14280
Piscinas y natatorios de recirculación de las aguas de rebose	301,82	m ²	10	litros/día/m ² de proyección horizontal de la piscina	3018,20
Anexos a la piscina	301,82	m ²	30	litros/día/m ² de proyección horizontal de la piscina	9054,60
Consumo estimado de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi					103 773,79 litros/día

Tabla 16
Consumo total de agua de inodoros y urinarios

Aparatos			Personas		Consumo de agua (l/d/persona)	Consumo de agua (l/d)
Tipo	Cantidad	Ponderación	Cantidad	Ponderación		
Inodoros	74	0,82	2241	1843	10,81	19922,83
Urinarios	16	0,18		398	4,74	1886,52
Total	90	1,00		2241		21 809,35

Tabla 17
Resumen de demanda y oferta de agua potable y recuperada en la IEE Coronel Bolognesi

Descripción	Consumo (l/d)	Días	Consumo (litros/año)	Proporción (%)
Demanda total teórica de agua potable	103773,79	246	25528352,98	
Demanda de agua potable en inodoros y urinarios	21809,35	246	5365100,10	21,02%
Demanda total de agua potable de inodoros y urinarios			5365100,10	21,02%
Oferta de agua de lavamanos	13432,55	246	3304407,30	12,94%
Oferta de agua pluvial			90000,00	0,35%
Oferta total de agua recuperada			3 394 407,30	13,30%

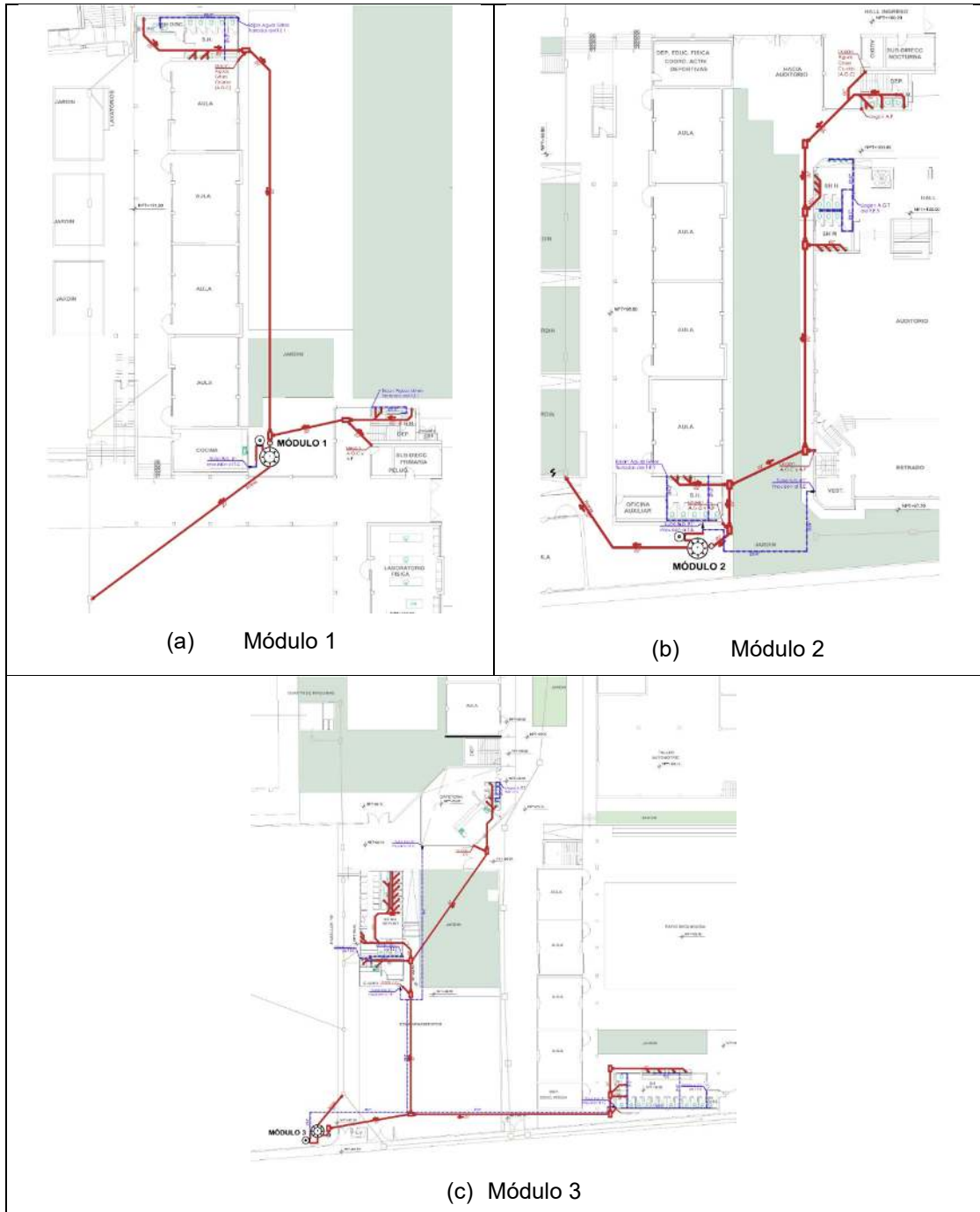
Con respecto a la reducción de costos de facturación que supondría la reutilización de aguas grises y pluviales para la descarga de inodoros y urinarios, este corresponde a aproximadamente, un ahorro de S/ 5431,05 al año, lo cual significa una reducción del 13,30% de la facturación de agua potable de la IEE (Tabla 18). Se debe tener en cuenta, que sólo se ha considerado la tarifa de agua potable porque el agua recuperada, una vez reusada, también ingresará al sistema de alcantarillado.

Tabla 18
Resumen de costos

Descripción	Costo anual (S/)	Proporción (%)
Demanda total teórica de agua potable	4 0845,36	
Demanda de agua potable en inodoros y urinarios	8 584,16	
Demanda total de agua potable de inodoros y urinarios	8 584,16	21,02%
Oferta de agua de lavamanos	5 287,05	
Oferta de agua pluvial	144,00	
Oferta total de agua recuperada	5 431,05	13,30%

La red general propuesta para el sistema de reciclaje de aguas grises y pluviales en la IEE Coronel Bolognesi se muestra en el Anexo 2. Debido a la lejanía entre pabellones y servicios higiénicos, es que ha propuesto la instalación de tres módulos de tratamiento (Fig. 11). Las Fig. 14a y 14b muestran el esquema de las tuberías a instalar y los lavamanos que abastecen al primer y segundo módulo, respectivamente. La Fig. 14c muestra el esquema del sistema de reciclaje de agua grises y pluviales del Módulo 3. En ninguno de los módulos se han considerado como parte del sistema a los servicios higiénicos de los talleres (Pabellón D y Pabellón E); esto debido al uso constante de thinner y demás sustancias químicas.

Figura 14
Esquemas del sistema de reciclado en los diferentes módulos



El costo de implementar el sistema de aprovechamiento de aguas grises se muestra asciende a S/ 153 842,88 (Tabla 19).

Tabla 19
Costos de implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas grises

Componente	Und	Cant.	Precio aproximado (S/)	Costo (S/)
Arquitectura				
Muros y tabiques de albañilería				
Placa de Drywall Volcanita ST 1/2" 1.22mx2.44m	m2	230,258	61,75	14218,41
Masilla en muros de drywall	m2	230,258	29,51	6794,90
Pisos y pavimentos				
Piso Cemento Frotachado E=4" Mezcla 1:4	m2	17,30	41,87	724,35
Coberturas				
Calamina Metálica Galvanizada 0.22mm x 3.6m x 0.8m	m2	51,37	47,74	2452,40
Carpintería de madera				
Puerta de madera de 0.80x2.30m	m2	5,52	297,64	1642,97
Cerrajería				
Bisagra 3" x 3" Aluminio	Und	9	13,99	125,91
Cerrojo Simple Acero	Und	3	91,4	274,20
Pintura				
Pintura látex color gris	m2	230,258	17,46	4020,30
Instalaciones sanitarias				
Sistema de agua fría (aguas grises tratadas)				
Salida de agua fría para tubería PVC 1/2"	pto	73	111,81	8162,13
Redes de distribución				
Tubería de PVC 3/4"	m	29,38	19,07	560,28
Tubería de PVC 1/2"	m	187,94	19,76	3713,69
Redes de alimentación				
Tubería de PVC 1"	m	268,89	18,57	4993,29
Tubería de PVC 3/4"	m	286,92	19,07	5471,56
Accesorios de redes de agua				
Codo 90° PVC 1"	Und	71	10,02	711,42
Tee 90° PVC 1"	Und	20	9,62	192,40
Codo 90° PVC 3/4"	Und	71	5,11	362,81
Codo 90° PVC 1/2"	Und	108	2,64	285,12
Tee PVC 3/4"	Und	6	5,38	32,28
Tee PVC 1/2"	Und	56	5,45	305,20
Reducción de 3/4" a 1/2"	Und	15	8,90	133,50
Tapón de 1"	Und	6	7,50	45,00
Tapón de 3/4"	Und	11	5,50	60,50
Válvulas				
Válvula de compuerta de bronce de 1"	Und	6	117,67	706,02
Válvula de compuerta de bronce de 3/4"	Und	15	99,74	1496,10

Tabla 19*Costos de implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas grises (continuación)*

Válvula de compuerta de bronce de 1/2"	Und	14	94,16	1318,24
Válvula Check 1"	Und	6	125,22	751,32
Sistema de drenaje pluvial (aguas grises crudas)				
Red de recolección				
Canaleta DN 125mm	m	157,87	161,53	25500,74
Desague y ventilación (aguas grises crudas)				
Salida de desague de PVC 2"	pto	35	136,18	4766,30
REDES DE DERIVACIÓN				
Tubería de PVC 2"	m	513	29,4	15082,20
REDES COLECTORAS				
Tubería de PVC 2"	m	184	29,4	5409,60
ACCESORIOS DE REDES COLECTORAS				
Sombrero de ventilación PVC 2"	Und	6	120,53	723,18
Codo 45° de PVC 2"	Und	41	3,28	134,48
Yee de PVC 2"x2"x2"	Und	51	8,62	439,62
Codo 90° PVC 2"	Und	9	3,28	29,52
Tee PVC 2"	Und	13	3,45	44,85
Trampa P de PVC 2"	Und	58	10,08	584,64
Tee sanitaria PVC 2"	Und	11	17,64	194,04
Caja de registro 12"x24" Tapa F°F°	Und	16	284,65	4554,40
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES				
Prefiltros de 5mm ¹	Und	9	75	675,00
Criba ²	Und	3	200,00	600,00
Bomba Sumergible 1 HP para aguas grises ³	Und	3	750,00	2250,00
Filtro lento de arena ⁴	Und	3	3500,00	10500,00
DESINFECCIÓN UV				
Unidad Sterilight S12Q-PA ⁵	Und	12	250,00	3000,00
Lámpara UV de 39 vatios modelo S36RL ⁶	Par	6	400,00	2400,00
Bomba centrífuga 2 HP ⁷	Und	3	800,00	2400,00
Tanque de almacenamiento de 1000L ⁸	Und	6	2500,00	15000,00
			TOTAL	153842,88

Nota: Las fuentes de costos:

1 <https://www.indiamart.com/proddetail/hydraulic-oil-filter-elements-23811103830.html>

2 https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-855076643-criba-de-repuesto-de-malla-de-calibre-pesado-6-x6-herramie-_JM#position=24&search_layout=stack&type=item&tracking_id=6de85788-b2c3-41f5-973c-d0aa3dab9116

3 https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-434910177-bomba-sumergible-1-hp-sumidero-desague-pozo-septico-glong-_JM?matt_tool=94979778&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=15098318383&matt_ad_group_id=126935577977&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=557076428348&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=141539448&matt_product_id=MPE434910177&matt_product_partition_id=1405821725438&matt_target_id=pla-

1405821725438&gclid=CjwKCAjwjtOTBhAvEiwASG4bClnH8q-
klnqyiNFcAllypnVMzFDg5WNGBVrO958FNBhI9CXiBINXoxoC72QQAvD_BwE

4 https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/392499/filtro-de-arena-s-210t/392499/?kid=goosho_213039&shop=googleShopping&gclid=CjwKCAjwjtOTBhAvEiwASG4bCKg9ltWEfbik-OQSCHi4t06DtdHnJC5bcpDW6lmjLCnTFSpxyTRAChoC0_YQAvD_BwE

5 https://www.amazon.com/s?k=sterilight+s12q-pa&crd=KMCQTNMHAXQM&srefix=Sterilight+S12Q-PA+%2Caps%2C348&ref=nb_sb_ss_ts-doa-p_1_19

6 https://www.amazon.com/-/es/LSE-Lighting-S36RL-l%C3%A1mparas-S12Q-Gold/dp/B07YBHMMW4/ref=sr_1_10?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=8JHV514SAHGI&keywords=uv+lamp+39+watt+s36rl+model&qid=1651889173&srefix=l%C3%A1mpara+uv+de+39+vattios+modelo+s36rl%2Caps%2C230&sr=8-10

7 <https://www.promart.pe/electrobomba-centrifuga-2hp-werken/p>

8 <https://www.bioplastic.cl/Productos/view/172/2>

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Las aguas grises consideradas en la presente tesis son las recogidas en los lavamanos de los servicios higiénicos (aguas grises claras o ligeras) y los grifos utilizados en ellos se abren manualmente. Las tasas de generación de aguas grises, así como sus características, varían mucho entre los diferentes usuarios, especialmente debido a sus diferentes culturas del agua (Alsulaili & Hamoda, 2015; Gross et al., 2015; Haq, 2017). Por esta razón, es que se recomienda realizar una medición con hidrómetros in situ, ya que no existen investigaciones con respecto a la generación de aguas grises claras en los centros educativos de nuestra localidad.

Adicionalmente, es necesario caracterizar las aguas grises con respecto a sus parámetros físicos, así como el contenido de compuestos químicos y microorganismos antes de su reutilización para asegurar que las aguas recuperadas no signifiquen un problema para la salud.

Por lo tanto, la cuantificación y caracterización real, in situ, de las aguas grises generadas es la base de la selección de la tecnología para su tratamiento y el diseño de las capacidades de cada uno de los módulos de tratamiento.

De acuerdo a Alsulaili et al. (2017), los procesos físicos no son suficientes para garantizar una adecuada remoción de organismos, nutrientes y otros compuestos; es por eso que se optó por combinarlo con una desinfección física. De la misma manera, (Alsulaili & Hamoda, 2015) concluyeron que el tratamiento mínimo requerido es la filtración para evitar la obstrucción de los sistemas de tuberías y la desinfección para la reutilización segura, pero se necesitan más estudios para determinar el tratamiento óptimo y rentable. En este estudio, se optó por la desinfección mediante luz ultravioleta sobre la desinfección química con hipoclorito, porque ésta se ve menos afectada por el tiempo de contacto (es decir, el caudal) y no necesita equipos adicionales de mezclado. Sin embargo, la desinfección con cloro requiere de operadores más capacitados y podría llevar a la acumulación de compuestos clorados.

Con respecto a la disminución del consumo anual de agua potable, considerando un reúso de aguas grises y pluviales, este asciende a un 13,30%. Sin embargo, si se realizan las mediciones respectivas, este porcentaje podría ser aún menor, debido a la

escasa cultura de lavado de manos que existe en nuestra región, lo que significaría una menor oferta de aguas grises (GRT, 2020, p. 20).

El ahorro económico que significaría el reúso de aguas grises y pluviales asciende a S/ 5431,05 al año. Para poder evidenciar ahorros considerables, habría que implementar otros tipos de estrategias como el uso de inodoros de baja descarga, el uso de urinarios con tecnologías de control de flujo; el riego de áreas verdes, jardines y cancha con aguas no potables; y sobre todo, la gestión la demanda de agua potable mediante la enseñanza exhaustiva sobre la adecuada cultura del agua.

El costo inicial de implementación del sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales es relativamente elevado; sin embargo, a largo plazo podría ser rentable, sobre todo desde el punto de vista ambiental y social (Tayara et al., 2021).

Si bien hay muy poca investigación relacionada al aprovechamiento de aguas grises y pluviales en centros educativos, con respecto a los resultados obtenidos en la presente tesis, se ha elaborado un contraste de otras investigaciones sobre el reúso de estas aguas en otro tipo de edificaciones (Tabla 20). En la Tabla 20 se plantea la discusión, iniciando con los objetivos específicos que conllevan a la resolución del objetivo general.

Tabla 20
Comparación de Resultados con Base Teórica

Objetivo	Resultado	Base teórica (antecedentes)
Determinar cuál será el tratamiento que se realizará a las aguas grises y pluviales de la I.E Coronel Bolognesi para que éstas puedan ser aprovechadas	Procesos físicos: filtro de arena y desinfección con luz ultravioleta	En el caso de reutilización de aguas grises en domicilios, la mayoría de las tesis e investigaciones han optado, de igual manera, por la utilización de filtros de área (Azabache et al., 2020; Rivadavía Huamaní, 2018). Con respecto a la desinfección UV, ésta ha demostrado tener mejores resultados que la cloración (Alsulaili et al., 2017; Alsulaili & Hamoda, 2015).
Estimar la disminución del consumo de agua potable en la I.E Coronel Bolognesi al aprovechar las aguas grises y pluviales.	La disminución del consumo anual de agua potable, considerando un reúso de aguas grises y pluviales, este asciende a un 13,30%.	En una vivienda multifamiliar de 12 pisos, el porcentaje de agua a reutilizar, es de 44% (Loza Delgado, 2017); sin embargo, en un colegio, la generación de aguas grises es mucho menor debido a los diferentes factores que rigen su producción.
Estimar el costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi.	El costo inicial de implementación del sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales es relativamente elevado S/ 153842,88 (ciento cincuenta y tres mil ochocientos cuarenta y dos con 88/100 soles).	En una vivienda, el costo inicial de instalación de un sistema de recirculación de aguas grises, se amortiza entre 10 a 20 años. Por consiguiente, el sistema es sostenible, desde el punto de vista económico, social y ambiental (Loza Delgado, 2017; Rivadavía Huamaní, 2018).
Diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales para disminuir el consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi en la provincia de Tacna.	La red general propuesta para el sistema de reciclaje de aguas grises y pluviales en la IEE Coronel Bolognesi se planteó de acuerdo a las normas y reglamentos vigentes. Debido a la lejanía entre pabellones y servicios higiénicos, es que ha propuesto la instalación de tres módulos de tratamiento. El diseño integral del sistema está reflejado en los planos de la presente tesis.	Normativa y literatura base: Reglamento Nacional de Edificaciones - IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones Reglamento Nacional de Edificaciones - CE.040 Drenaje Pluvial Aqua España - Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios

De implementarse este sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales en la Institución Educativa Emblemática Coronel Bolognesi, esta se convertiría en una referencia con respecto al reúso de agua en los colegios del sur del país y, sería el punto de partida para una futura legislación de reúso de aguas.

CONCLUSIONES

En la presente tesis, se ha diseñado un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales en la Institución Educativa Emblemática Coronel Bolognesi.

Se ha determinado que el sistema de tratamiento más adecuado para tratar las aguas grises y pluviales se basa en tratamientos físicos, tanto la filtración mediante filtros de arena, como la desinfección con lámparas de luz ultravioleta.

Implementando un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales, se disminuiría en un 13,30 % el consumo anual de agua potable en la IEE Coronel Bolognesi, y por siguiente el monto de facturación por este servicio se reduciría proporcionalmente.

El costo inicial de implementar un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales es relativamente alto y asciende a la suma aproximada de S/ 153 842,88.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios sobre sistemas de aprovechamiento de aguas grises en nuestra región, para que de esa manera se impulse la generación de reglamentos y normativas que rijan estos diseños y puedan considerarse una política ambiental, especialmente en zonas áridas como la nuestra, donde las fuentes de agua son escasas.

Se recomienda realizar una caracterización real, mediante ensayos de calidad de agua, de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas grises y pluviales, para poder determinar y diseñar las características específicas de cada uno de los componentes de los módulos de tratamiento.

Se recomienda realizar una medición real, mediante el uso de hidrómetros, del gasto de los aparatos (inodoros, urinarios, lavamanos y duchas) considerados en el sistema de reúso. Esto para conocer de manera más precisa el volumen de agua con el que se cuenta para reúso y, adicionalmente, complemente el diseño de los componentes de los módulos de tratamiento.

Se recomienda realizar un estudio más detallado y a largo plazo sobre la factibilidad y viabilidad económica de implementar de un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales en la IEE Coronel Bolognesi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alsulaili, A. D., & Hamoda, M. F. (2015). Quantification and characterization of greywater from schools. *Water Science and Technology*, 72(11), 1973–1980. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.408>
- Alsulaili, A. D., Hamoda, M. F., Al-Jarallah, R., & Alrukaibi, D. (2017). Treatment and potential reuse of greywater from schools: a pilot study. *Water Science and Technology*, 75(9), 2119–2129. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.088>
- ANDINA. (2011). *Cambio climático provoca escasez de agua en Tacna, según estudio | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina*. <https://andina.pe/agencia/noticia-cambio-climatico-provoca-escasez-agua-tacna-segun-estudio-348782.aspx>
- AQUA ESPAÑA. (2016). *Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*.
- Arce Jáuregui, L. F. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales*.
- Bieberach Mugruza, H. J. (2019). *Sostenibilidad para una red de reúso de agua residual urbana en la ciudad de Lima*.
- Burstein-Roda, T. (2018). Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 297. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2018.352.3641>
- Cauna Quispe, C. E. (2020). *Sistema de tratamiento de aguas residuales del sector Arunta para reúso de áreas verdes del Distrito de Tacna*.
- Contreras, J., Contreras, B., Peredo, I., Quintana, J., Quinto, V., & Quispe, A. (2021). *Instalaciones sanitarias utilizando sistemas de recirculación del agua potable*.
- Cuerva Fernández, I. (2020). *Análisis, presencia y efectos de los parabenos en organismos marinos* [Trabajo de fin de máster]. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- DRET. (2020). *Compendio Estadístico 2020*.
- Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones | iAgua*. (n.d.). Retrieved April 23, 2022, from <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>
- Filtración lenta de arena | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!* (n.d.). Retrieved April 20, 2022, from <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtraci%C3%B3n-lenta-de-arena>
- Franco Díaz, G. (2012). *Tratamiento de las aguas residuales en Tacna*. <https://docplayer.es/44610961-Tratamiento-de-las-aguas-residuales-en-tacna.html>
- Gallo, H. (2010). *Plantas de tratamiento de aguas grises*.

- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Friedler, E. (2015). *Greywater Reuse* (CRC Press, Ed.; 1st ed.).
- GRT. (2020). *Estrategia de prevención sanitaria y socioeconómica para hacer frente al COVID-19*.
- Haq, Pe. S. A. (2017). *Harvesting Rainwater from Buildings*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46362-9>
- Loza Delgado, P. J. (2017). *Diseño de un Sistema de Reciclado de Aguas Grises y su Aprovechamiento para un Desarrollo Sostenible en una Vivienda Multifamiliar de Doce Pisos en la Ciudad de Tacna* [Título Profesional]. Universidad Privada de Tacna.
- Martin, J., & Heaney, J. (2008). *BMP 5: WATER USE BY URINALS*.
- Muñoz Fernandez, R. S. (2019). *Evaluación de la calidad de aguas de lluvias en los Distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar de Rancas – Provincia de Pasco - 2016*.
- Ortiz Forero, W. A., & Velandia Bernal, W. D. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*.
- Pino-Vargas, E., Chávarri-Velarde, E., Ingol-Blanco, E., Mejía, F., Cruz, A., & Vera, A. (2022). Impacts of Climate Change and Variability on Precipitation and Maximum Flows in Devil's Creek, Tacna, Peru. *Hydrology*, 9(1), 10. <https://doi.org/10.3390/hydrology9010010>
- Puma Condori, Y. (2020). *Evaluación del proceso de coagulación y floculación con Mucilago de Opuntia Ficus Indica como adyuvante del FeCl3 en efluentes de servicios de comida* [Tesis para título profesional]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- ¿Qué puedes hacer? - *Acueductospr*. (n.d.). Retrieved April 28, 2022, from <https://www.acueductospr.com/quepuedeshacer>
- Radin Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, A. A. S., & Mohd Kassim, A. H. (Eds.). (2019). *Management of Greywater in Developing Countries* (Vol. 87). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90269-2>
- Reactor biológico secuencial (SBR) | Formación de ingenieros*. (n.d.). Retrieved April 23, 2022, from <https://www.tecpa.es/reactor-biologico-secuencial-sbr/>
- Reclaimed Wastewater | U.S. Geological Survey*. (n.d.). Retrieved April 23, 2022, from <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/reclaimed-wastewater>
- Ren, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2020). Graywater treatment technologies and reuse of reclaimed water for toilet flushing. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34653–34663. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05154-6>

- Rivadavia Huamaní, E. L. (2018). *Evaluación de recirculación de agua gris a nivel domiciliario para abastecimiento de descarga de olores en una construcción a escala real, ubicada en la ciudad de Juliaca.*
- RNE. (2006). *IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones.*
- RNE. (2021). *CE.040 Drenaje Pluvial.*
- Ruiz Mendoza, A. R. (2019). *Aprovechamiento hídrico y sistema de captación de agua pluvial en techos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes - Huancayo.*
- Saavedra Huenumilla, V. A. (2017). *Prefactibilidad técnica y económica de una empresa dedicada a la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises en viviendas.*
- Sedimentador | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!* (n.d.). Retrieved April 20, 2022, from <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/sedimentador>
- Silva, L. C. C. da, Filho, D. O., Silva, I. R., Pinto, A. C. V. e, & Vaz, P. N. (2019). Water sustainability potential in a university building – Case study. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101489. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101489>
- Sistemas de desinfección de Agua mediante luz Ultra Violeta – PureWater Colombia | Tecnología en Tratamiento de Aguas*. (n.d.). Retrieved April 21, 2022, from <https://purewater.com.co/sistemas-de-desinfeccion-de-agua-mediante-luz-ultra-violeta/>
- Soto Aguilar, W. (2012). *Sistemas de tratamiento de aguas grises domésticas, como una alternativa para la seguridad hídrica de Tijuana.*
- Sunass detectó 213 colegios públicos con el servicio de agua potable cortado - Gobierno del Perú.* (n.d.-a). Retrieved April 7, 2022, from <https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/589418-sunass-detecto-213-colegios-publicos-con-el-servicio-de-agua-potable-cortado>
- Sunass detectó 213 colegios públicos con el servicio de agua potable cortado - Gobierno del Perú.* (n.d.-b). Retrieved April 7, 2022, from <https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/589418-sunass-detecto-213-colegios-publicos-con-el-servicio-de-agua-potable-cortado>
- Talpur, B. D., Ullah, A., & Ahmed, S. (2020). Water consumption pattern and conservation measures in academic building: a case study of Jamshoro Pakistan. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1781. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03588-z>
- Tayara, A., Shanableh, A., Atieh, M. A., Abdallah, M., Battacharjee, S., Mustafa, A., & Bardan, M. al. (2021). Feasibility and impact of greywater recycling in four types of buildings in Sharjah, United Arab Emirates. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 725(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/725/1/012009>

Tratamiento de aguas grises y su reutilización - Flowen. (n.d.). Retrieved April 2, 2022, from <https://flowen.com.pe/site/tratamiento-de-aguas-grises-y-su-reutilizacion/>

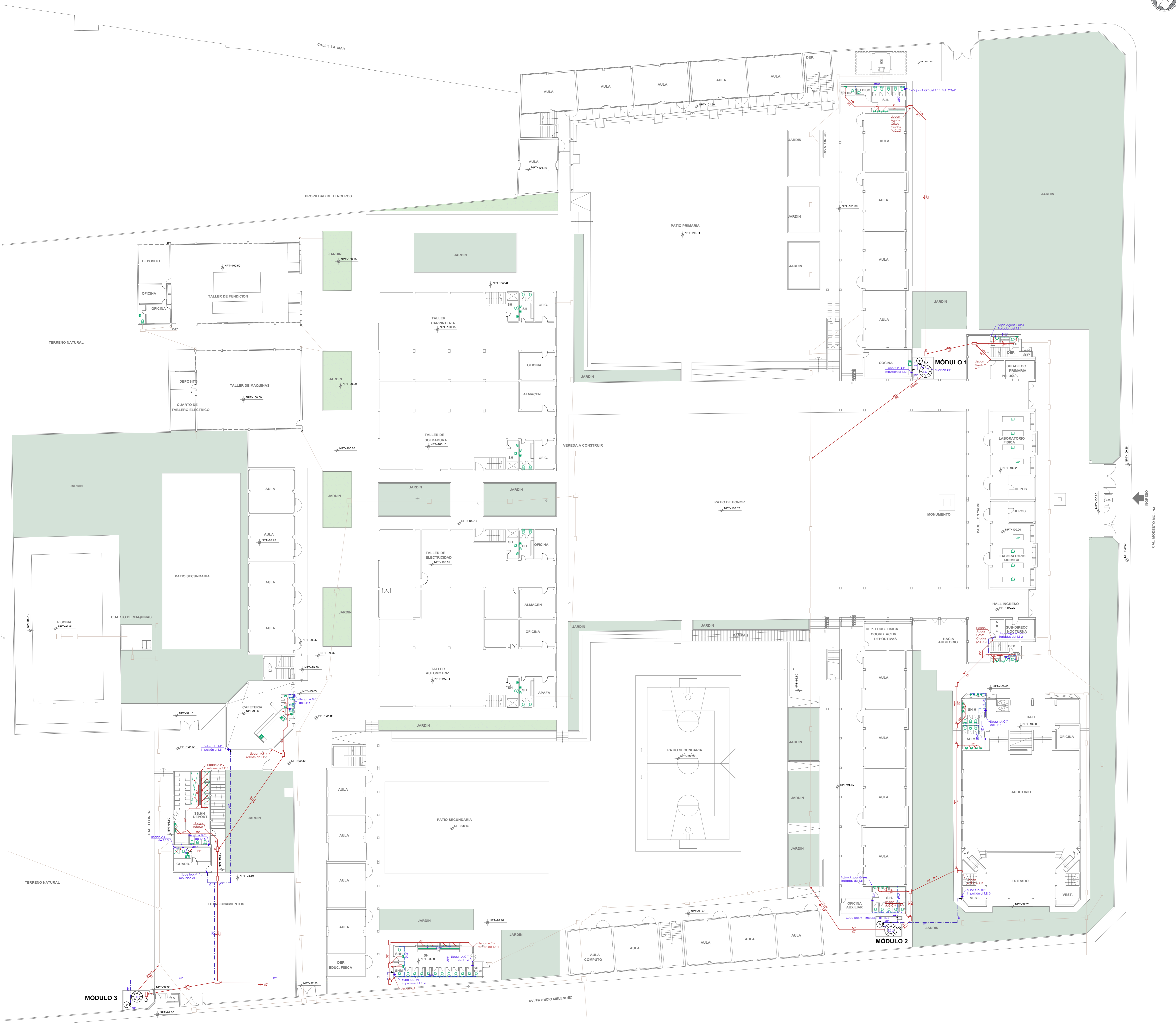
Urinals | *US EPA.* (n.d.). Retrieved March 21, 2022, from <https://www.epa.gov/watersense/urinals>

Winward, G. P. (2007). *Disinfection of grey water* [Degree of Doctor of Philosophy]. Cranfield University.

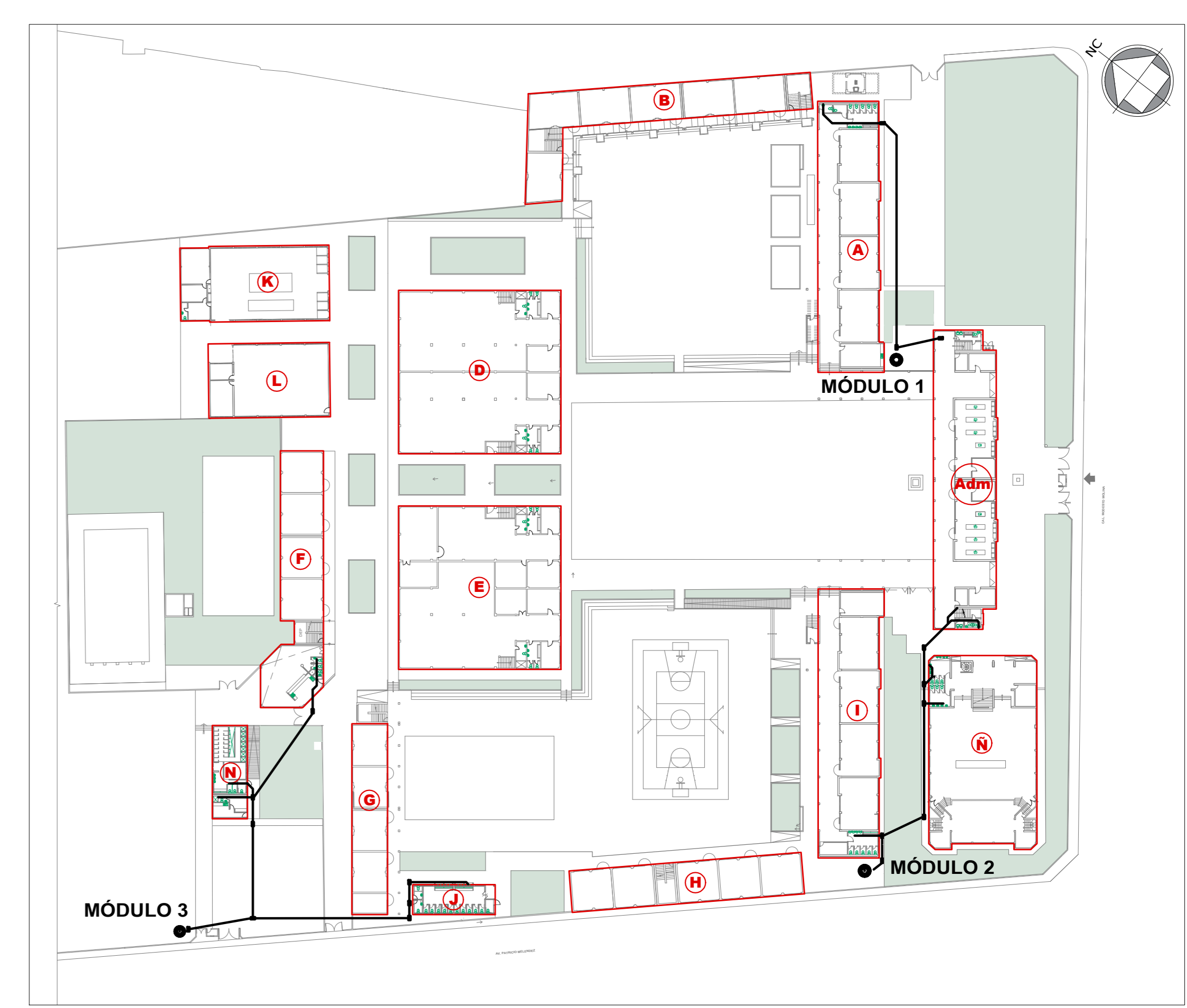
ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO	VARIABLE	INDICADOR	METODOLOGIA	
<p>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA CENTRAL</p> <p>¿De qué manera se configura el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales para disminuir el consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi de la provincia de Tacna?</p>	<p>HIPÓTESIS PRINCIPAL</p> <p>Con una propuesta de diseño de aprovechamiento de aguas grises y pluviales se disminuye el consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi.</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales para disminuir el consumo de agua potable en la Institución Educativa Coronel Bolognesi en la provincia de Tacna.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>DISMINUCION DE CONSUMO DE AGUA POTABLE</p>	<p>a) Consumo de agua potable (m³) b) Reducción de costo de facturación de agua potable</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicada</p>	
<p>FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuál será el tratamiento que se realizará a las aguas grises y pluviales de la I.E. Coronel Bolognesi para que puedan ser aprovechadas?</p> <p>¿Cuánto disminuye el consumo de agua potable en la I.E. Coronel Bolognesi al aprovechar las aguas grises y pluviales?</p> <p>¿Cuánto es el costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi?</p>	<p>HIPÓTESIS SECUNDARIAS</p> <p>El tratamiento que se realiza a las aguas grises y pluviales de la I.E. Coronel Bolognesi permite que éstas sean aprovechadas.</p> <p>Con el sistema de aprovechamiento de aguas grises y pluviales se reduce significativamente el consumo de agua potable en la Institución Educativa.</p> <p>El costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi no es excesivo.</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO</p> <p>Determinar cuál será el tratamiento que se realizará a las aguas grises y pluviales de la I.E. Coronel Bolognesi para que éstas puedan ser aprovechadas.</p> <p>Estimar la disminución del consumo de agua potable en la I.E. Coronel Bolognesi al aprovechar las aguas grises y pluviales.</p> <p>Estimar el costo de implementación de un sistema de aprovechamiento de grises y pluviales en la I.E. Coronel Bolognesi.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES Y PLUVIALES</p>	<p>a) Volumen de aguas grises y pluviales a ser tratadas (m³)</p>	<p>Nivel de Investigación:</p> <p>Propositivo</p>	<p>Aplicada por que incorpora elemento de innovación, proponiendo un modelo aprovechamiento de las aguas grises y pluviales.</p>



PRIMER NIVEL SEGUNDO NIVEL TERCER NIVEL **PLANO CLAVE**



PLANO ESQUEMÁTICO

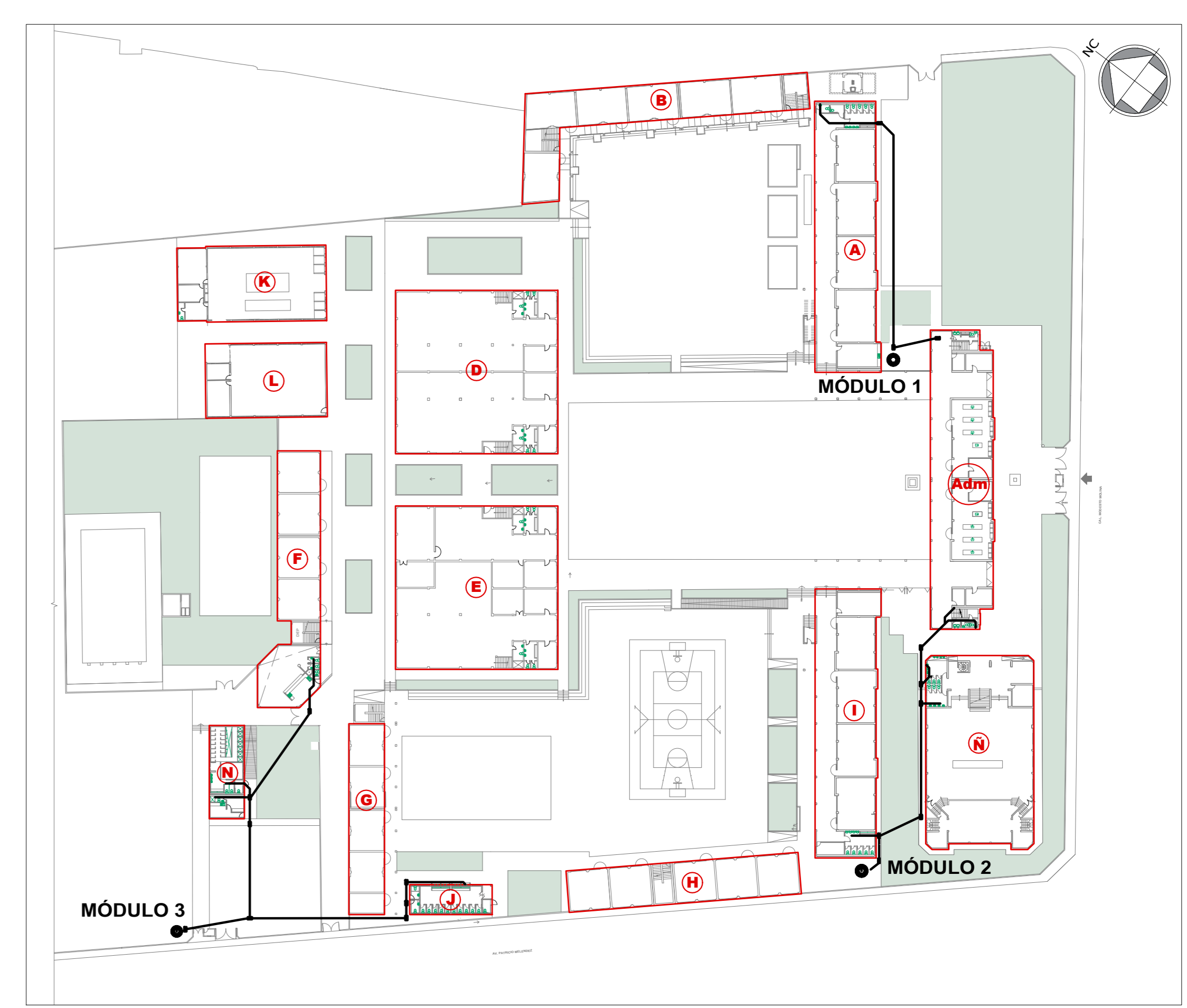
LEYENDA		
	RED DE AGUAS GRISAS TRATADAS	
	RED DE DESAGUE DE AGUAS GRISAS BRUTAS	
	RED DE DESAGUE EXISTENTE	

PLANTA PRIMER NIVEL
ESC 1:250

	UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
	TÍTULO: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISAS Y PLUVIALES PARA DISMINUCIÓN DE CONSUMO DEL AGUA POTABLE EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CORONEL BOLONNESI EN LA CIUDAD DE TACNA - 2022"		
	TÉRMINO PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL		
	PLANEO: INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUAS GRISAS - PLANTA PRIMER NIVEL		
ASISTENTE: MTRCO. YVAN AROSQUIPA NINA	REGISTRO: BACH. ING. ANGEL RAUL ROMERO BARRICO, BACH. ING. ANDRÉS HERNÁNDEZ, INGENIERO QUÍMICO.	LÁMINA: IS-01	
ESCRIBIÓ: 1/250	FECHA: MAYO 2022		



PRIMER NIVEL SEGUNDO NIVEL TERCER NIVEL **PLANO CLAVE**



PLANO ESQUEMÁTICO

LEYENDA		
	RED DE AGUAS GRISAS TRATADAS	
	RED DE DESAGÜE DE AGUAS GRISAS BRUTAS	
	RED DE DESAGÜE EXISTENTE	

PLANTA SEGUNDO NIVEL
ESC 1:250

	UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
	TÍTULO: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISAS Y PLUVIALES PARA DISMINUCIÓN DE CONSUMO DEL AGUA POTABLE EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CORONEL BOLOGNESI EN LA CIUDAD DE TACNA - 2022"		
	TÍTULO PARA OPTAR: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL		
	PLAN: "INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUAS GRISAS - PLANTA SEGUNDO NIVEL"		
	ASISTENTE: MTRD. YVAN AROSQUIPA NINA	TESISISTAS: BACH. ING. ANGEL RAUL ROMERO BAZURCO BACH. ING. ANDRÉS HERNÁNDEZ SANCHEZ QUISPE	LEYENDA: IS-02



EPS TACNA S.A

AV. 2 DE MAYO 372
RUC: 20134052989

TARJETA DE LECTURAS

DHUAMA

Codigo : 22787
Catastro : 001 001 002 0422 1361 002
Usuario : I.E. CORONEL BOLOGNESI
Direccion : PJ PJ L PRADO/MODESTO MOLINA
Nro.Dirc : CDRA 02 ED
Urb/Aso/AH : NO DEFINIDO
Categoria : 037 ESTATAL
Est.Servicio : OPERATIVO CON SERVICIO-ACTIVO
Ruta Lectura : 5030 Nro.Orden : 3080

Datos del medidor
Nro Medidor: 5008000010
Diametro Medidor: 4ø - 100mm
Tipo Medidor: VOLUMETRICO
Marca Medidor: DH
Capacidad Medidor: 30 mts x hra
Tipo promedio: 2-Promedio/6 Ultimas Lecturas

Datos de la conexion de agua
Diametro: 1/2ø - 15mm
Material Tubo: PVC
Localiza caja: VEREDA
Pavimentacion: ASFALTO
Tipo corte: TAPA SELLADA
Estado Conexión: ACTIVO
Claves Medidor:
Vereda: CONCRETO
Fecha Instal.: 00/00/0000 00:00:00
Caja: CONCRETO
Estado Caja: BUEN ESTADO
Tapa: CONCRETO
Estado tapa:
Fugas: [Ninguno]

Fecha Instalación: 15/07/2017 08:18:00 Fecha de Retiro: 10/05/2016 00:00:00 Fecha de Reinstalación: 15/07/2017 08:18:00 **REINSTALADO**
Fecha Contrastación en Laboratorio: 11/05/2016 09:50:13 Fecha Contrastación en Campo:

Mesanio	Fecha Lectura	Lect.Ant	Lect.Ult.	Consumo	Cons.Fact.	Cons.Reba	Promedio	TP	ES	Nro. Medidor	Agua	Desague	Estado Lectura	Estado Medidor	Lct	Observacion
Mar-2022	22/02/2022 00:00:0	2	3	1	2076		2076	2		5008000010	4,550.59	1,924.45	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	PARALIZADO	044	PARALIZADO
Feb-2022	21/01/2022 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	044	
Ene-2022	22/12/2021 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	PARALIZADO	044	
Dic-2021	22/11/2021 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	044	
Nov-2021	22/10/2021 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	PARALIZADO	101	
Oct-2021	21/09/2021 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	101	PARALIZADO
Set-2021	21/08/2021 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	TAPADO CON DESMONTE	003	
Ago-2021	22/07/2021 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	LECTURAS IGUALES	BUENA CONDICION	044	
Jul-2021	21/06/2021 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,351.30	1,839.34	LECTURAS IGUALES	TAPADO CON DESMONTE	003	2
Jun-2021	22/05/2021 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	TAPADO CON DESMONTE	003	3
May-2021	22/04/2021 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	TAPADO CON DESMONTE	044	3
Abr-2021	23/03/2021 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	TAPADO CON DESMONTE	006	
Mar-2021	20/02/2021 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	NO UBICADO	044	64517
Feb-2021	22/01/2021 11:37:3	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	NO UBICADO	051	2
Ene-2021	22/12/2020 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	BUENA CONDICION	003	2
Dic-2020	21/11/2020 00:00:0	57588	57588	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	BUENA CONDICION	044	
Nov-2020	24/10/2020 16:02:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	058	PARALIZADO
Oct-2020	22/09/2020 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	NO UBICADO	051	
Set-2020	26/08/2020 14:21:5	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
Ago-2020	21/07/2020 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURA NO VALIDA X DIAS	PARALIZADO		
Jul-2020	16/06/2020 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	PARALIZADO		
Jun-2020	22/05/2020 09:42:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	061	
May-2020	19/04/2020 00:00:0	2	2	0	2076	0	2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	005	PARALIZADO
Abr-2020	16/03/2020 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	111	ESTADO DE EMERGENCIA POR COVID-19
Mar-2020	17/02/2020 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Feb-2020	21/01/2020 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	063	
Ene-2020	20/12/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	018	
Dic-2019	20/11/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO Y/O LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	018	

TARJETA DE LECTURAS

DHUAMA

Codigo : 22787
 Catastro : 001 001 002 0422 1361 002
 Usuario : I.E. CORONEL BOLOGNESI
 Direccion : PJ PJ L PRADO/MODESTO MOLINA
 Nro.Dirc : CDRA 02 ED
 Urb/Aso/AH : NO DEFINIDO
 Categoria : 037 ESTATAL
 Est.Servicio : OPERATIVO CON SERVICIO-ACTIVO
 Ruta Lectura : 5030 Nro.Orden: 3080

Datos del medidor
 Nro Medidor: 5008000010
 Diametro Medidor: 4ø - 100mm
 Tipo Medidor: VOLUMETRICO
 Marca Medidor: DH
 Capacidad Medidor: 30 mts x hra
 Tipo promedio: 2-Promedio/6 Ultimas Lecturas

Datos de la conexion de agua
 Diametro: 1/2ø - 15mm
 Material Tubo: PVC
 Localiza caja: VEREDA
 Pavimentacion: ASFALTO
 Tipo corte: TAPA SELLADA
 Estado Conexión: ACTIVO
 Llaves Medidor:
 Vereda: CONCRETO
 Fecha Instal.: 00/00/0000 00:00:00
 Caja: CONCRETO
 Estado Caja: BUEN ESTADO
 Tapa: CONCRETO
 Estado tapa:
 Fugas: [Ninguno]

Fecha Instalación: 15/07/2017 08:18:00

Fecha de Retiro: 10/05/2016 00:00:00

Fecha de Reinstalación: 15/07/2017 08:18:00

REINSTALADO

Fecha Contrastaion en Laboratorio: 11/05/2016 09:50:13

Fecha Contrastaion en Campo:

Resultado de la Contrastaion: Sobre-Registra

Mesanio	Fecha Lectura	Lect.Ant.	Lect.Ult.	Consumo	Cons.Fact.	Cons.Reba	Promedio	TP	ES	Nro. Medidor	Agua	Desague	Estado Lectura	Estado Medidor	Lct	Observacion
Nov-2019	19/10/2019 19:32:1	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	NO UBICADO	018	
Oct-2019	20/09/2019 13:14:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	051	
Set-2019	19/08/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	IMPEDIMENTO TEMPORAL	102	IMPEDIMENTO TEMPORAL
Ago-2019	18/07/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	ILEGIBLE	018	
Jul-2019	20/06/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	005	
Jun-2019	20/05/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	063	IMPEDIMENTO TEMPORAL
May-2019	22/04/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	023	
Abr-2019	21/03/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	PARALIZADO	102	PARALIZADO
Mar-2019	21/02/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	4,199.75	1,774.98	LECTURAS IGUALES	BUENA CONDICION	103	
Feb-2019	21/01/2019 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	102	IMPEDIMENTO TEMPORAL
Ene-2019	21/12/2018 14:26:4	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	LECTURAS IGUALES	ILEGIBLE	023	
Dic-2018	20/11/2018 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	LECTURAS IGUALES	ILEGIBLE	023	
Nov-2018	19/10/2018 17:29:3	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
Oct-2018	20/09/2018 14:13:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
Set-2018	20/08/2018 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	023	
Ago-2018	19/07/2018 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,927.11	1,646.22	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	016	
Jul-2018	20/06/2018 19:55:2	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	016	
Jun-2018	19/05/2018 13:15:5	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
May-2018	20/04/2018 14:56:2	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
Abr-2018	21/03/2018 17:10:2	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
Mar-2018	21/02/2018 14:32:5	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	070	
Feb-2018	21/01/2018 19:12:2	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	051	PARALIZADO
Ene-2018	20/12/2017 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	IMPEDIMENTO TEMPORAL	023	
Dic-2017	20/11/2017 15:39:4	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	023	
Nov-2017	19/10/2017 16:40:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	005	IMPEDIMENTO TEMPORAL
Oct-2017	21/09/2017 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	PARALIZADO	005	PARALIZADO
Set-2017	21/08/2017 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	BUENA CONDICION	005	
Ago-2017	14/07/2017 00:00:0	2	2	0	2076		2076	2		5008000010	3,811.70	1,596.80	LECTURAS IGUALES	REINSTALADO POR BCO MEDIDOR	011	REINSTALACION X BCO. MEDIDOR 18/07/2017



TARJETA DE LECTURAS

DHUAMA

Codigo : 22787
 Catastro : 001 001 002 0422 1361 002
 Usuario : I.E. CORONEL BOLOGNESI
 Direccion : PJ PJ L PRADO/MODESTO MOLINA
 Nro.Dirc : CDRA 02 ED
 Urb/Aso/AH : NO DEFINIDO
 Categoria : 037 ESTATAL
 Est.Servicio : OPERATIVO CON SERVICIO-ACTIVO
 Ruta Lectura : 5030 Nro.Orden : 3080

Datos del medidor:
 Nro Medidor: 5008000010
 Diametro Medidor: 4ø - 100mm
 Tipo Medidor: VOLUMETRICO
 Marca Medidor: DH
 Capacidad Medidor: 30 mts x hra
 Tipo promedio: 2-Promedio/6 Ultimas Lecturas

Datos de la conexion de agua:
 Diametro: 1/2ø - 15mm
 Material Tubo: PVC
 Localiza caja: VEREDA
 Pavimentacion: ASFALTO
 Tipo corte: TAPA SELLADA
 Estado Conexión: ACTIVO
 Llaves Medidor:

Vereda: CONCRETO
 Fecha Instal.: 00/00/0000 00:00:00
 Caja: CONCRETO
 Estado Caja: BUEN ESTADO
 Tapa: CONCRETO
 Estado tapa:
 Fugas: [Ninguno]

Fecha Instalación: 15/07/2017 08:18:00

Fecha de Retiro: 10/05/2016 00:00:00

Fecha de Reinstalación: 15/07/2017 08:18:00

REINSTALADO

Fecha Contrastación en Laboratorio: 11/05/2016 09:50:13

Fecha Contrastación en Campo:

Resultado de la Contrastación: Sobre-Registra

Mesanio	Fecha Lectura	Lect. Ant.	Lect. Ult.	Consumo	Cons. Fact.	Cons. Reba.	Promedio	TP	ES	Nro. Medidor	Agua	Desague	Estado Lectura	Estado Medidor	Lct	Observacion
Jul-2017	15/06/2017 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,811.70	1,596.86	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Jun-2017	15/05/2017 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
May-2017	15/04/2017 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Abr-2017	16/03/2017 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Mar-2017	16/02/2017 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Feb-2017	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Ene-2017	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Dic-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Nov-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Oct-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Set-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Ago-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Jul-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Jun-2016	10/05/2016 00:00:0	298653	307728	0	2076		2076	2		12190908	3,714.88	1,557.66	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
May-2016	22/04/2016 17:09:5	298653	298653	0	2165		2165	2		12190908	3,578.73	1,502.44	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	023	
Abr-2016	21/03/2016 23:17:1	298653	298653	0	2165		2165	2		12190908	3,578.73	1,502.44	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO ENTERRADO	006	

TARJETA DE LECTURAS

DHUAMA

Codigo : 22788
 Catastro : 001 001 002 0422 1361 003
 Usuario : I.E. CORONEL BOLOGNESI
 Direccion : CER CERCADO/TARATA
 Nro.Dirc : S/N
 Urb/Aso/AH : NO DEFINIDO
 Categoria : 037 ESTATAL
 Est.Servicio : OPERATIVO CON SERVICIO-ACTIVO
 Ruta Lectura : 5030 Nro.Orden : 3100

Datos del medidor:
 Nro Medidor: 15120098
 Diametro Medidor: 2ø - 50mm
 Tipo Medidor: VOLUMETRICO
 Marca Medidor: DH LXSG-15E
 Capacidad Medidor: 30 mts x hra
 Tipo promedio: 2-Promedio/6 Ultimas Lecturas:

Datos de la conexion de agua
 Diametro: [Ninguno]
 Material Tubo: [Ninguno]
 Localiza caja: VEREDA
 Pavimentacion: ASFALTO
 Tipo corte: [Ninguno]
 Estado Conexión: [Ninguno]
 Llaves Medidor:
 Vereda: CONCRETO
 Fecha Instal.: 00/00/0000 00:00:00
 Caja: CONCRETO
 Estado Caja: OTRO
 Tapa: CONCRETO
 Estado tapa:
 Fugas: [Ninguno]

Fecha Instalación: 14/03/2018 17:11:00 Fecha de Retiro: 21/12/2021 10:00:00 Fecha de Reinstalación: 14/03/2018 17:11:00 **RETIRADO**
 Fecha Contrastaion en Laboratorio: 11/05/2016 09:18:36 Fecha Contrastaion en Campo:

Mesanio	Fecha Lectura	Lect. Ant.	Lect. Ult.	Consumo	Cons. Fact.	Cons. Reba	Promedio	TP/ES	Nro. Medidor	Agua	Desague	Estado Lectura	Estado Medidor	Lct	Observacion
Mar-2022	16/02/2022 00:00:0	72919	73157	238	1553		1553	2 X	15120098	3,404.18	1,439.63	CONEXION CERRADO CON LECTURA	BUENA CONDICION		
Feb-2022	16/01/2022 00:00:0	72919	73157	238	0		1553	2 X	15120098	0.00	0.00	CONEXION CERRADO CON LECTURA	BUENA CONDICION		
Ene-2022	16/12/2021 00:00:0	72919	73157	238	238		1553	0 X	15120098	498.85	210.87	CONEXION CERRADO CON LECTURA	BUENA CONDICION	044	LA RETIRADO 22/12/2021 10:13:16 ZACARI
Dic-2021	22/11/2021 00:00:0	69813	69813	0	1553		1553	2	15120098	3,255.09	1,375.96	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	SIN MEDIDOR	044	72141
Nov-2021	22/10/2021 00:00:0	69813	69813	0	1553		1553	2	15120098	3,255.09	1,375.96	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	SIN MEDIDOR	101	
Oct-2021	21/09/2021 00:00:0	69574	69813	239	1553		1553	2	15120098	3,255.09	1,375.96	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	TAPADO CON DESMONTE	101	
Set-2021	21/08/2021 00:00:0	69574	69574	0	1553		1553	2	15120098	3,255.09	1,375.96	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	PARALIZADO	003	PARALIZADO
Ago-2021	22/07/2021 00:00:0	69574	69574	0	1553		1553	2	15120098	3,255.09	1,375.96	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO		PARALIZADO
Jul-2021	21/06/2021 00:00:0	69574	69574	0	1553		1553	2	15120098	3,255.09	1,375.96	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	003	PARALIZADO
Jun-2021	22/05/2021 00:00:0	69574	69574	0	1553		1553	2	15120098	3,141.72	1,327.82	LECTURAS IGUALES	PARALIZADO	044	PARALIZADO
May-2021	22/04/2021 00:00:0	68935	69574	639	639		1736	0	15120098	1,292.70	546.35	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	044	
Abr-2021	23/03/2021 00:00:0	67053	68935	1882	1882		2062	0	15120098	3,807.29	1,609.11	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	044	
Mar-2021	20/02/2021 00:00:0	65678	67053	1375	1375		2200	0	15120098	2,781.63	1,175.63	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	044	
Feb-2021	22/01/2021 11:37:3	64340	65678	1338	1338		2273	0	15120098	2,706.77	1,143.99	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	044	
Ene-2021	22/12/2020 00:00:0	62861	64340	1479	1479		2727	0	15120098	2,992.02	1,264.55	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	044	
Dic-2020	21/11/2020 00:00:0	60254	62861	2607	2607		40	0	15120098	5,273.96	2,228.99	CONSUMO EXCESIVO	BUENA CONDICION	044	
Nov-2020	24/10/2020 16:02:2	58186	60254	2068	2068		2530	0	15120098	4,183.56	1,768.14	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	058	
Oct-2020	22/09/2020 00:00:0	55574	58186	2612	2612		2788	0	15120098	5,284.08	2,233.26	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	044	
Set-2020	26/08/2020 00:00:0	53500	55574	2074	2074	0	2559	0	15120098	4,195.70	1,773.27	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	044	
Ago-2020	21/07/2020 00:00:0	50700	53500	2800	2800		40	0	15120098	5,664.40	2,394.00	CONSUMO EXCESIVO	BUENA CONDICION	044	
Jul-2020	21/06/2020 09:46:4	47925	50700	2775	2775		2460	0	15120098	5,613.83	2,372.63	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	005	
Jun-2020	22/05/2020 09:46:4	45465	45465	0	2460		2460	2	15120098	4,976.58	2,103.30	LECTURAS IGUALES	TAPADO CON DESMONTE	005	
May-2020	16/04/2020 00:00:0	43005	45465	2460	2460	0	2460	2	15120098	4,976.58	2,103.30	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	BUENA CONDICION	111	ESTADO DE EMERGENCIA POR COVID-19
Abr-2020	16/03/2020 00:00:0	40545	43005	2460	2460		2460	2	15120098	4,976.58	2,103.30	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	BUENA CONDICION	111	ESTADO DE EMERGENCIA POR COVID-19
Mar-2020	20/02/2020 00:00:0	40545	40545	0	2400		2400	2	15120098	4,855.20	2,052.00	LECTURAS IGUALES	BUENA CONDICION	044	L.A.
Feb-2020	21/01/2020 00:00:0	21583	21583	0	2400		2400	2	15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	NO UBICADO	102	
Ene-2020	20/12/2019 00:00:0	21583	21583	0	2400		2400	2	15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	018	
Dic-2019	20/11/2019 00:00:0	21583	21583	0	2400		2400	2	15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	018	

TARJETA DE LECTURAS

DHUAMA

Codigo : 22788
 Catastro : 001 001 002 0422 1361 003
 Usuario : I.E. CORONEL BOLOGNESI
 Direccion : CER CERCADO/TARATA
 Nro.Dirc : S/N
 Urb/Aso/AH : NO DEFINIDO
 Categoria : 037 ESTATAL
 Est.Servicio : OPERATIVO CON SERVICIO-ACTIVO
 Ruta Lectura : 5030 Nro.Orden : 3100

Datos del medidor
 Nro Medidor: 15120098
 Diametro Medidor: 2ø - 50mm
 Tipo Medidor: VOLUMETRICO
 Marca Medidor: DH LXSG-15E
 Capacidad Medidor: 30 mts x hra
 Tipo promedio: 2-Promedio/6 Ultimas Lecturas

Datos de la conexion de agua
 Diametro: [Ninguno]
 Material Tubo: [Ninguno]
 Localiza caja: VEREDA
 Pavimentacion: ASFALTO
 Tipo corte: [Ninguno]
 Estado Conexión: [Ninguno]
 Llaves Medidor:
 Vereda: CONCRETO
 Fecha Instal.: 00/00/0000 00:00:00
 Caja: CONCRETO
 Estado Caja: OTRO
 Tapa: CONCRETO
 Estado tapa:
 Fugas: [Ninguno]

Fecha Instalación: 14/03/2018 17:11:00 Fecha de Retiro: 21/12/2021 10:00:00 Fecha de Reinstalación: 14/03/2018 17:11:00 **RETIRADO**
 Fecha Contrastación en Laboratorio: 11/05/2016 09:18:36 Fecha Contrastación en Campo: Resultado de la Contrastación: Sobre-Registra

Mesanio	Fecha Lectura	Lect.Ant.	Lect.Ult.	Consumo	Cons.Fact.	Cons.Reba	Promedio	TP	ES	Nro. Medidor	Agua	Desague	Estado Lectura	Estado Medidor	Lct	Observacion
Nov-2019	19/10/2019 19:32:2	21583	21583	0	2400		2400	2		15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	NO UBICADO	018	
Oct-2019	20/09/2019 13:14:1	21583	21583	0	2400		2400	2		15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	051	
Set-2019	19/08/2019 00:00:0	21583	21583	0	2400		2400	2		15120098	4,855.20	2,052.00	LECTURAS IGUALES	IMPEDIMENTO TEMPORAL	102	
Ago-2019	18/07/2019 00:00:0	21583	21583	0	2400		2400	2		15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL	018	
Jul-2019	20/06/2019 00:00:0	21583	21583	0	2400		2400	2		15120098	4,855.20	2,052.00	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	TAPADO CON DESMONTE	005	
Jun-2019	20/05/2019 00:00:0	20418	21583	1165	1165		2412	0		15120098	2,356.80	996.08	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	063	IV
May-2019	22/04/2019 00:00:0	16787	20418	3631	3631		1953	0		15120098	7,345.51	3,104.51	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	102	
Abr-2019	21/03/2019 00:00:0	14573	16787	2214	2214		1724	0		15120098	4,478.92	1,892.97	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	102	
Mar-2019	21/02/2019 00:00:0	11742	14573	2831	2831		1356	0		15120098	5,727.11	2,420.51	CONSUMO EXCESIVO	BUENA CONDICION	103	
Feb-2019	21/01/2019 16:00:2	9148	11742	2594	2594		1178	0		15120098	4,914.41	2,060.11	CONSUMO EXCESIVO	BUENA CONDICION	102	
Ene-2019	21/12/2018 14:26:4	7183	9148	1965	1965		1020	0		15120098	3,715.54	1,557.54	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	023	
Dic-2018	20/11/2018 00:00:0	5948	7183	1235	1235		1431	0		15120098	2,324.16	974.27	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	005	
Nov-2018	19/10/2018 17:31:4	5069	5948	879	879		1778	0		15120098	1,645.62	689.82	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	070	
Oct-2018	20/09/2018 14:13:1	4228	5069	841	841		2013	0		15120098	1,573.20	659.46	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	070	
Set-2018	20/08/2018 00:00:0	3609	4228	619	619		1483	0		15120098	1,150.06	482.08	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	005	
Ago-2018	19/07/2018 00:00:0	2952	3609	657	1483		1483	2		15120098	2,796.85	1,172.42	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	016	
Jul-2018	20/06/2018 19:55:3	2316	2952	636	1483		1483	2		15120098	2,714.65	1,137.23	CONSUMO MENOR AL PROMEDIO	BUENA CONDICION	005	
Jun-2018	19/05/2018 13:16:0	790	2316	1526	1526		1440	0		15120098	2,794.20	1,170.55	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	005	
May-2018	20/04/2018 14:56:3	13	790	777	1440		1440	2		15120098	2,635.10	1,103.90	LECTURA NORMAL	BUENA CONDICION	005	
Abr-2018	16/03/2018 00:00:0	13	13	0	1440		1440	2		15120098	2,635.10	1,103.90	LECTURAS IGUALES	REINSTALADO POR BCO MEDIDOR	013	REINSTALACION X BCO MEDIDOR 14/03/2018
Mar-2018	16/02/2018 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Feb-2018	16/01/2018 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Ene-2018	16/12/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Dic-2017	16/11/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Nov-2017	16/10/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Oct-2017	15/09/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Set-2017	15/08/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Ago-2017	14/07/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2		1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		

TARJETA DE LECTURAS

DHUAMA

Codigo : 22788
 Catastro : 001 001 002 0422 1361 003
 Usuario : I.E. CORONEL BOLOGNESI
 Direccion : CER CERCADO/TARATA
 Nro.Dirc : S/N
 Urb/Aso/AH : NO DEFINIDO
 Categoria : 037 ESTATAL
 Est.Servicio : OPERATIVO CON SERVICIO-ACTIVO
 Ruta Lectura : 5030 Nro.Orden : 3100

Datos del medidor
 Nro Medidor: 15120098
 Diametro Medidor: 2ø - 50mm
 Tipo Medidor: VOLUMETRICO
 Marca Medidor: DH LXSG-15E
 Capacidad Medidor: 30 mts x hra
 Tipo promedio: 2-Promedio/6 Ultimas Lecturas

Datos de la conexion de agua
 Diametro: [Ninguno]
 Material Tubo: [Ninguno]
 Localiza caja: VEREDA
 Pavimentacion: ASFALTO
 Tipo corte: [Ninguno]
 Estado Conexión: [Ninguno]
 Llaves Medidor:
 Vereda: CONCRETO
 Fecha Instal.: 00/00/0000 00:00:00
 Caja: CONCRETO
 Estado Caja: OTRO
 Tapa: CONCRETO
 Estado tapa:
 Fugas: [Ninguno]

Fecha Instalación: 14/03/2018 17:11:00 Fecha de Retiro: 21/12/2021 10:00:00 Fecha de Reinstalación: 14/03/2018 17:11:00 **RETIRADO**
 Fecha Contrastaion en Laboratorio: 11/05/2016 09:18:36 Fecha Contrastaion en Campo:

Mesanio	Fecha Lectura	Lect. Ant.	Lect. Ult.	Consumo	Cons. Fact.	Cons. Reba	Promedio	TP ES	Nro. Medidor	Agua	Desague	Estado Lectura	Estado Medidor	Lct	Observacion
Jul-2017	15/06/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,635.10	1,103.90	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Jun-2017	15/05/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
May-2017	15/04/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Abr-2017	16/03/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Mar-2017	16/02/2017 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Feb-2017	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Ene-2017	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Dic-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Nov-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Oct-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Set-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Ago-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Jul-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
Jun-2016	10/05/2016 00:00:0	35434	38611	0	1440		1440	2	1303000006	2,568.17	1,076.84	NO REGISTRO CONSUMO NO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		
May-2016	22/04/2016 17:09:5	35434	35434	0	1917		1917	2	1303000006	3,165.81	1,329.08	NO REGISTRO LECTURA	IMPEDIMENTO TEMPORAL		023
Abr-2016	21/03/2016 23:17:1	32144	35434	3290	3290		1440	0	1303000006	5,451.85	2,288.81	CONSUMO EXCESIVO	BUENA CONDICION		006