



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA  
Y MATERIALES

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN ESTABLECIMIENTOS DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR: CASO DE ESTUDIO FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y  
MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

LUCIANO ANDRÉS REYES GODOY

PROFESOR GUÍA:  
FELIPE DÍAZ ALVARADO

PROFESOR CO-GUÍA:  
ALVARO OLIVERA NAPPA

COMISIÓN:  
PABLO GARRIDO SZEGEDI

SANTIAGO DE CHILE  
2024

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA EN ESTABLECIMIENTOS DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR: CASO DE ESTUDIO FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y  
MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

En el escenario de cambio climático actual, Chile es uno de los países que se verá más afectado por la escasez hídrica. En este contexto, y en colaboración con la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad, surge la necesidad de comprender en detalle el uso del agua en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile. El objetivo de este trabajo es caracterizar la Huella Hídrica de la FCFM. Para ello, se implementará una metodología que permita cuantificar las entradas y salidas de agua de la facultad en un año. Con base en esta información, se propondrán estrategias efectivas que mejoren la gestión hídrica en la FCFM. Para ello, se siguió la siguiente metodología: i) registro del consumo anual de agua, ii) estimación del uso de agua dentro de la facultad, iii) ajuste de las estimaciones, iv) identificación de las oportunidades de mejora, v) selección y evaluación de medidas para reducir el consumo, vi) propuesta de un plan de implementación de estas medidas.

En el año 2022, la facultad registró un consumo de 60.530 m<sup>3</sup> de agua, distribuido en cinco fuentes principales: uso de artefactos sanitarios (60%), riego de áreas verdes (17%), pérdidas (19%), mantención de piscina (3%) y uso de laboratorios (1%). A partir de estimaciones de consumo ajustadas al registro de uso, se determinó que el 96% del volumen total se concentra en las tres primeras fuentes. Las medidas para reducir el uso de agua se seleccionaron a través de una evaluación multicriterio que consideró: la relación con los principales usos, su pertinencia en el tiempo y facilidad de implementación. Las medidas seleccionadas tienen el potencial de reducir el consumo de agua de la Facultad en un 48%. Sin embargo, debido a la gran inversión e intervención que requerirían algunas de estas medidas, se propone un plan de implementación gradual con distintos horizontes temporales: corto plazo, mediano plazo y largo plazo. Como resultado de la implementación del plan de reducción gradual, se espera que en 13 años el consumo anual de agua de la facultad se reduzca de 60.532 m<sup>3</sup> a 29.122 m<sup>3</sup>.

Este trabajo proporciona a la FCFM las herramientas necesarias para mejorar su gestión hídrica. La metodología utilizada, que incluye la estimación del consumo, el estudio de medidas de reducción y la elaboración de un plan de implementación gradual, puede ser replicada en otras instituciones de educación superior, contribuyendo así a un uso más eficiente y sostenible del recurso hídrico en el sector educativo.

# Agradecimientos

Agradezco a mi familia por el cariño y el apoyo que me dieron, por confiar en mí y ayudarme cuando lo necesité.

Agradezco a todos los amigos y amigas que me acompañaron en mi vida universitaria, sin todas esas experiencias vividas no sería quien soy ahora, a los FIPES y a mi gente de IQBTM

Agradezco al equipo de rugby, con ellos encontré un grupo de personas que sé que puedo contar, que lo dieron todo conmigo dentro de la cancha y cuando me tuve que alejar me siguieron considerando uno de sus hermanos. Abrazo de try

Agradezco a mi amor por acompañarme en esta etapa, porque siempre puedo contar con ella y porque siempre fue quién me ayudó a Javi por todo su amor, su fuerza y apoyo durante toda esta etapa

## Tabla de Contenido

Capítulo 1 .....	1
Introducción .....	1
1.1    Objetivos y alcances .....	4
1.1.1    Objetivo General.....	4
1.1.2    Objetivo Específico .....	4
1.1.3    Alcances.....	4
Capítulo 2 .....	5
Metodología general y estructura del trabajo .....	5
2.1    Metodología general.....	5
2.2    Estructura del trabajo .....	6
Capítulo 3.....	7
Registro de consumo .....	7
3.1    Metodología .....	7
3.2    Resultados .....	8
3.3    Conclusiones Parciales.....	10
Capítulo 4.....	12
4.1    Artefactos Sanitarios .....	12
4.1.1    Metodología – Artefactos Sanitarios.....	12
4.1.2    Resultados y Discusiones – Artefactos Sanitarios.....	18
4.1.3    Conclusiones Parciales - Artefactos Sanitarios .....	21
4.2    Riego de áreas verdes.....	23
4.2.1    Metodología – Riego de áreas verdes.....	23
4.2.2    Resultados y Discusiones – Riego de áreas verdes.....	24
4.2.3    Conclusiones Parciales – Riego de áreas verdes .....	25
4.3    Uso en laboratorios .....	27
4.3.1    Metodología – Uso en laboratorios.....	27
4.3.2    Resultados y Discusiones – Uso en laboratorios .....	27
4.3.3    Conclusiones Parciales – Uso en laboratorios.....	28
4.4    Mantenimiento de la piscina.....	29

4.4.1	Metodología – Mantenión de la piscina .....	29
4.4.2	Resultados y Discusiones – Mantenión de la piscina .....	29
4.4.3	Conclusiones Parciales – Mantenión de la piscina .....	30
4.5	Pérdidas por rotura.....	31
4.5.1	Metodología – Pérdidas por rotura .....	31
4.5.2	Resultados y discusiones – Pérdidas por rotura .....	31
4.5.3	Conclusiones Parciales – Pérdidas por rotura .....	31
4.6	Resultados de las estimaciones de consumo.....	32
Capítulo 5.....		35
Estimación vs Registro .....		35
5.1	Resumen estimaciones.....	35
5.2	Comparación.....	36
5.3	Análisis de Sensibilidad .....	37
5.4	Conclusiones parciales.....	40
Capítulo 6.....		42
Ajuste de la estimación.....		42
6.1	Metodología de ajuste .....	42
6.2	Resultados y Discusiones .....	43
6.3	Conclusiones parciales.....	44
Capítulo 7.....		46
Propuestas de mejoras para el sistema hídrico de la FCFM .....		46
7.1	Buenas prácticas .....	46
7.2	Mejoras técnicas disponibles.....	47
7.3	Evaluación multicriterio de las MTD .....	49
7.3.1	Criterios de decisión .....	49
7.3.2	Valoración .....	50
7.3.3	Evaluación y síntesis.....	50
7.4	Identificación de oportunidades de mejora .....	54
Capítulo 8.....		56
Evaluación de mejoras para el sistema hídrico de la FCFM .....		56
8.1	Mejoras con respecto a pérdidas.....	57

8.2	Recambio de artefactos sanitarios:.....	60
8.3	Sistema de riego eficiente.....	64
8.4	Re-adecuamiento de PTAG.....	70
8.5	Xeripaisajismo.....	72
8.6	Conclusiones parciales – Evaluación de mejoras.....	74
	Capítulo 9.....	75
	Plan de aplicación de mejoras para el sistema hídrico de la FCFM.....	75
9.1	Plan de acción.....	75
9.2	Resumen de las medidas.....	84
	Conclusiones finales.....	87
	Bibliografía.....	90
	Anexos.....	92
	Anexo A: Registro de consumo por boletas de Aguas Andinas.....	92
	Anexo B: Parámetros Artefactos sanitarios.....	98
	Anexo C: Riego.....	107
	Anexo D: Laboratorio.....	108
	Anexo E: Piscina.....	110
	Anexo F: Análisis de sensibilidad.....	111
	Anexo G: Nuevos estándares.....	115
	Anexo H: Riego.....	118
	Anexo I: Xeripaisajismo.....	120

# Capítulo 1

## Introducción

En el contexto mundial actual debemos ser conscientes de los distintos desafíos ambientales y del desafío del Cambio climático, el cual amenaza con alterar el estilo de vida que llevamos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) define al Cambio Climático (CC) como “la variación del estado del clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, donde se altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural de las condiciones climáticas” .<sup>1</sup>

El cambio climático es un problema atribuido a la presión antropogénica sobre el planeta y pone en riesgo la vida de todas las especies en la Tierra. En el 2015 las Naciones Unidas adoptan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) <sup>2</sup>, de estos el ODS 6 “Agua Limpia y Saneamiento” busca combatir la escasez de agua que afecta a más del 40% de la población mundial, cifra que probablemente aumente con el aumento progresivo de la temperatura debido al CC. Cada vez son más los países que experimentan estrés hídrico y Chile no se escapa de esto.

Debido al crecimiento constante en su demanda y la creciente presión en sus fuentes, la escasez hídrica impactará directamente en la forma de vida que llevamos. Las estimaciones proyectan un aumento constante en la demanda de agua, proyectando para el 2050 un incremento entre el 20% y 30%, cifras que son preocupantes ante el contexto de Cambio Climático en el que nos encontramos. <sup>3</sup>

Actualmente en el mundo el uso de agua se distribuye entre la agricultura, con aproximadamente un 70% de la demanda, la industria, con un 20%, y el uso doméstico con 10%. Dentro de la agricultura, la mayoría del uso de agua se relaciona con el riego. Por otro lado, en la industria el 75% del uso de agua se relaciona a la generación de energía. Estos valores nos demuestran los potenciales problemas que surgirán ante la escasez hídrica ya que impactará directamente en la generación de comida y la generación de energía. Por último, la demanda del uso doméstico se pronostica aumente de forma constante de aquí al 2050. <sup>3</sup>

El Cambio Climático representa un desafío para la gestión hídrica y particularmente para Chile, ya que se prevé que esta sea una de las regiones más afectadas por el estrés hídrico. Para el 2040, Chile será el país con mayor estrés hídrico en la región (Latinoamérica) <sup>4</sup>. En

este escenario, la gestión hídrica es fundamental para mitigar los efectos del Cambio Climático.

Ante estos desafíos, conceptos como la Huella Hídrica emergen como herramientas para medir el volumen total de agua empleado en la producción de bienes y servicios a lo largo de su ciclo de vida<sup>5</sup>. Este concepto se introdujo en 2002 como un indicador del uso de agua dulce y en el 2011 se formaliza su metodología bajo el nombre de Evaluación de la Huella Hídrica (Water Footprint Assesment) <sup>6</sup>. Seguir metodologías como esta, o usar indicadores como este, nos entrega una forma de cuantificar el uso de agua en una actividad o producto. Estas metodologías pueden adaptarse para calcular el uso de agua en una institución como una universidad o algo más pequeño como un negocio o un hogar. Conocer en qué se utiliza el agua es fundamental para poder implementar medidas que tengan un impacto significativo en la reducción del consumo de agua.

Otras instituciones, como LEED (Leadership in Energy and Enviromental Design), otorgan certificaciones a edificios que cumplen con un estándar de sostenibilidad. En el caso de la Universidad de Chile, los edificios de Beaucheff 851 de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas cuentan con este sello de construcción, el cual posee un estándar que apunta a reducir la contribución al cambio climático, y en particular, a una buena gestión hídrica. Certificaciones como esta son importantes para mejorar la gestión hídrica dentro de instituciones como universidades u otros edificios y son importantes para combatir el estrés hídrico.

Las Instituciones de Educación Superior (IES de ahora en adelante) desempeñan un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, al ser centros de investigación, educación y de generación de conocimiento. Las IES contribuyen de forma significativa a la comprensión de desafíos ambientales y al desarrollo de soluciones. En su rol de formación de profesionales, inspiran y guían a las futuras generaciones de líderes para abordar este tipo de desafíos. Para ello, es fundamental que estas cuenten en sus currículos cursos de sostenibilidad que impulsen la transición hacia un futuro sostenible y resiliente al cambio climático.

Este compromiso se ve reflejado en la amplia diversidad de trabajos e investigaciones relacionados con este ámbito. Ejemplos de estos trabajos incluyen metodologías de cálculo de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernador <sup>7</sup>, que propone una forma de calcular los GEI en instituciones de educación superior, o propuestas para mejorar el sistema de gestión de residuos <sup>8</sup>, la cual busca aumentar el flujo de los residuos valorizados y mejorar los costos de operación entre otras cosas. Incluso trabajos a mayor escala como lo es el de indicadores de huella de agua territorial <sup>9</sup>, la cual busca entre otras cosas, caracterizar la disponibilidad hídrica de las cuencas hidrográficas chilenas y definir una

metodología para determinar la huella de agua de una actividad productiva. Estos ejemplos demuestran la capacidad de las IES para generar soluciones innovadoras y transitar hacia un futuro más sostenible.

Otros trabajos relacionados con la huella hídrica se han realizado en otras universidades del país. Un ejemplo es el informe de sustentabilidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde se presenta el uso del agua siguiendo la metodología propuesta por Arjen Hoekstra <sup>10</sup>. Informes similares se han realizado en la Universidad Técnica Federico Santa María<sup>11</sup> y en la Universidad Tecnológica Metropolitana<sup>12</sup>, lo que demuestra el interés de las IES por aportar en el cálculo y desarrollo de herramientas para medir el consumo de agua en sus instituciones.

Motivadas por este interés, las IES chilenas, a través de la Red Campus Sustentable y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, han diseñado el Acuerdo de Producción Limpia (APL) para Instituciones de Educación Superior Sustentable. Este acuerdo tiene como objetivo “identificar los aspectos de mayor relevancia, jerarquizar prioridades en la gestión, comprometer actividades y metas específicas en pos de su mejoramiento continuo, contribuyendo positivamente al cumplimiento de los estándares de sustentabilidad”. El APL es una forma de comprometer a las universidades adheridas a tomar acciones concretas y reportar los avances de sus campus en materia de sustentabilidad.<sup>13</sup>

Dos de los campus de la Universidad de Chile forman parte del Acuerdo de Producción Limpia. En el marco de este acuerdo, la universidad se ha comprometido a implementar distintas acciones relacionadas con la gobernanza y seguimiento, cultura sustentable, academia vinculación con el medio y responsabilidad social, y gestión de campus. Este último tiene como meta implementar medidas de prevención, eficiencia y mitigación mediante la gestión de los distintos recursos para alcanzar la carbono neutralidad.

En este contexto surge la presente memoria, la cual busca mejorar la gestión hídrica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM). Para lograr este objetivo, es fundamental conocer el consumo actual de agua en la facultad, su distribución por uso y los puntos críticos de consumo. A través de un estudio de Huella Hídrica en la FCFM, se pretende establecer los pasos necesarios para reducir el consumo de agua y mejorar la gestión hídrica de la facultad. Se espera que esta herramienta pueda ser replicada en otras facultades e instituciones de educación superior en Chile, contribuyendo así a un uso más eficiente y sostenible del recurso hídrico en el país.

## 1.1 Objetivos y alcances

### 1.1.1 Objetivo General

Caracterizar la Huella Hídrica de la FCFM mediante una metodología que permita cuantificar las entradas y salidas que afecten a esta anualmente, para proponer acciones que reduzcan su impacto.

### 1.1.2 Objetivo Específico

1. Medir el consumo de agua del campus utilizando mediciones directas
2. Comparar el consumo con estimaciones de demanda hídrica
3. Identificar las principales actividades que consumen agua en la FCFM
4. Proponer y evaluar acciones que disminuyan el uso de agua.

### 1.1.3 Alcances

Considerando la medición de consumo de agua es necesario comparar el consumo con estimaciones de manera de validar ambas. El límite organizacional del estudio corresponde a los edificios de Beaucheff 851 y Beaucheff 850 exceptuando IDIEM.

# Capítulo 2

## Metodología general y estructura del trabajo

### 2.1 Metodología general

Con el objetivo de caracterizar el uso de agua en el campus Beaucheff se llevarán a cabo, mediciones directas y estimaciones de demanda hídrica, de manera de poder identificar las principales actividades y cuánta agua utilizan. A continuación, se realizará una comparación entre la estimación y el registro de agua para ajustar la estimación con el uso real del agua. Por otro lado, se evaluarán distintas medidas para reducir el uso de agua, aquellas que impacten los puntos críticos identificados se les realizará una evaluación técnica económica. Tras esta evaluación se propondrán medidas que puedan aplicarse a corto, mediano y largo plazo.

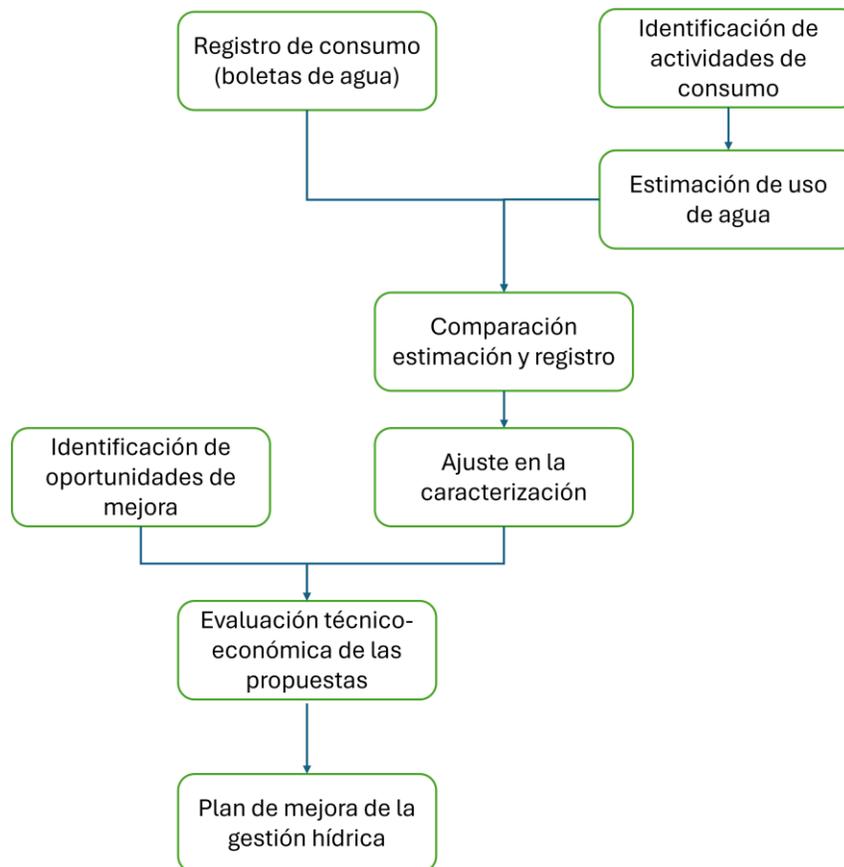


Figura 1: Metodología

## 2.2 Estructura del trabajo

La estructura del trabajo sigue la estructura de la figura 1, el capítulo 3 busca responder el objetivo específico 1, medir el uso de agua en la FCFM durante el año 2022, la metodología específica de como logra este objetivo se explica dentro del capítulo.

Para cumplir el segundo objetivo específico, se debe realizar una estimación del consumo de agua que tienen las distintas actividades en la facultad, el capítulo 4 está centrado en esta estimación, para ello se identifican los principales usos y se estima el consumo para el año, la metodología de estimación de cada fuente se explica dentro del capítulo. A continuación, en el capítulo 5 se compara el volumen estimado con el registro del capítulo 3, de esta manera se cumple el objetivo específico 2.

El capítulo 6 responde el objetivo específico 3, el cual, a través de una estimación de consumo ajustada, determina el volumen de cada actividad identificando así, los principales consumos dentro de la facultad, esta información es fundamental para luego evaluar acciones que disminuyan el consumo de agua.

Los siguientes capítulos se centran en el objetivo específico 4, proponer y evaluar acciones que disminuyan el uso de agua dentro de la facultad. Para ello, el capítulo 7 analiza las oportunidades de mejora y propone una serie de medidas a ser evaluadas técnico-económicamente. El capítulo 8 analiza los costos y el efecto en el sistema de gestión hídrica de cada una de las medidas seleccionadas, para luego en el capítulo 9 presentar una combinación de acciones que puedan ser implementadas en un periodo de tiempo a corto, mediano o a largo plazo, cumpliendo así el objetivo específico 4.

# Capítulo 3

## Registro de consumo

Considerando que el trabajo tiene por objetivo evaluar la situación actual y después sugerir cambios en el sistema hídrico de la FCFM, el primer desafío es diagnosticar la situación actual. Para ello es necesario el registro del uso directo del agua dentro de la facultad, los resultados y distintas observaciones se encuentran en este capítulo.

### 3.1 Metodología

Para empezar, se definió el límite operacional. El campus Beaucheff cuenta con 6 dependencias, Beauchef 850, Beauchef 851, Observatorio Cerro Calán, Edificio República, Talle Molina y el Jardín Infantil Nietos de Bello. De estas dependencias, sólo se considerarán en el estudio Beaucheff 851 y Beaucheff 850, excluyendo el edificio de IDIEM.

La facultad se abastece a través de la empresa de agua "Aguas Andinas". Para registrar el consumo y realizar el cobro respectivo, la empresa lleva a cabo una inspección mensual de cada medidor. Sin embargo, debido a problemas de coordinación, en ocasiones no se pueden realizar todas las inspecciones. En tales casos, la empresa utiliza un valor estimado para registrar el consumo y luego, al confirmar el valor correcto, se efectúa una corrección en el consumo del mes siguiente.

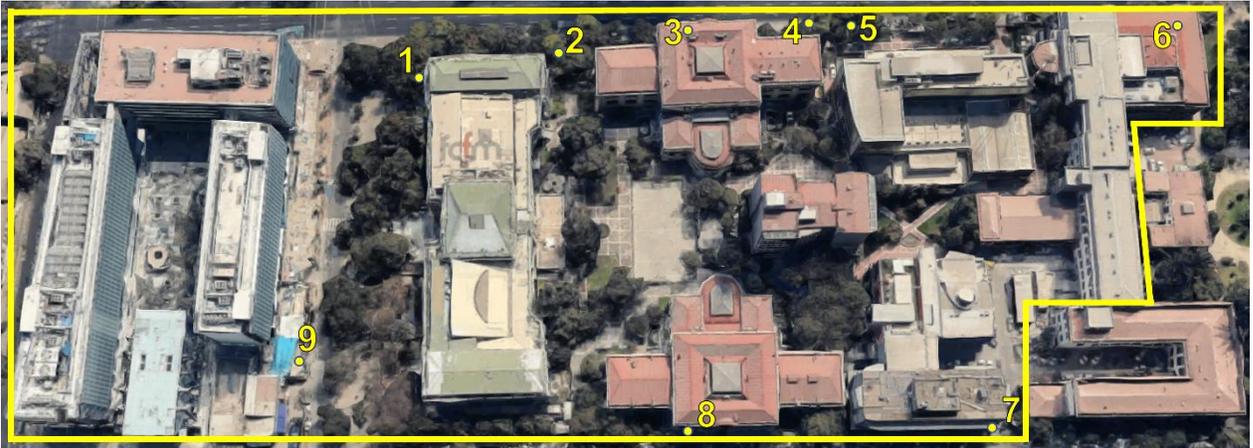
Con el fin de estimar de manera más precisa el consumo mensual en la facultad, se realiza un ajuste comparando los meses en los que se llevaron a cabo las inspecciones de manera adecuada y distribuyéndolos en los meses aproximados. Además, las facturas muestran el consumo entre las mediciones tomadas, que cronológicamente corresponde al mes anterior al período de facturación. Por lo tanto, para cada mes se registra el consumo de la factura del mes siguiente. De esta manera, las estimaciones y mediciones estarán en concordancia con el consumo real de ese mes y reflejarán de manera más precisa las actividades.

Dado que la Universidad no utiliza otro método de abastecimiento, esta información proporcionará el consumo total anual registrado y se utilizará para compararlo con el consumo esperado según la caracterización.

## 3.2 Resultados

En la siguiente sección se presentan los resultados del consumo registrado por los medidores a través de las boletas de agua de “Aguas Andinas”.

El límite operacional y los medidores en funcionamiento se muestran en la Figura 2.



*Figura 2: Ubicación de los medidores de agua en la FCFM*

Teniendo en consideración que, si bien los medidores se encuentran en ocasiones dentro o cerca de grandes edificios, en realidad, el consumo de estos no se puede relacionar directamente con los edificios, ya que hay casos en los que un edificio se alimenta de más de un medidor o, incluso, un medidor abastece a más de un edificio. Por lo tanto, al presentar los resultados, se hablará de medidores sin especificar a qué edificio corresponden.

La Figura 3: “Consumo de agua registrado por boletas en la FCFM 2022” presenta a continuación, registra el volumen en metros cúbicos mensual de los distintos medidores de

la facultad, teniendo en cuenta las correcciones descritas en la metodología. Para obtener más detalles al respecto, se pueden consultar en el Anexo A: Registro Boletas Aguas Andinas.

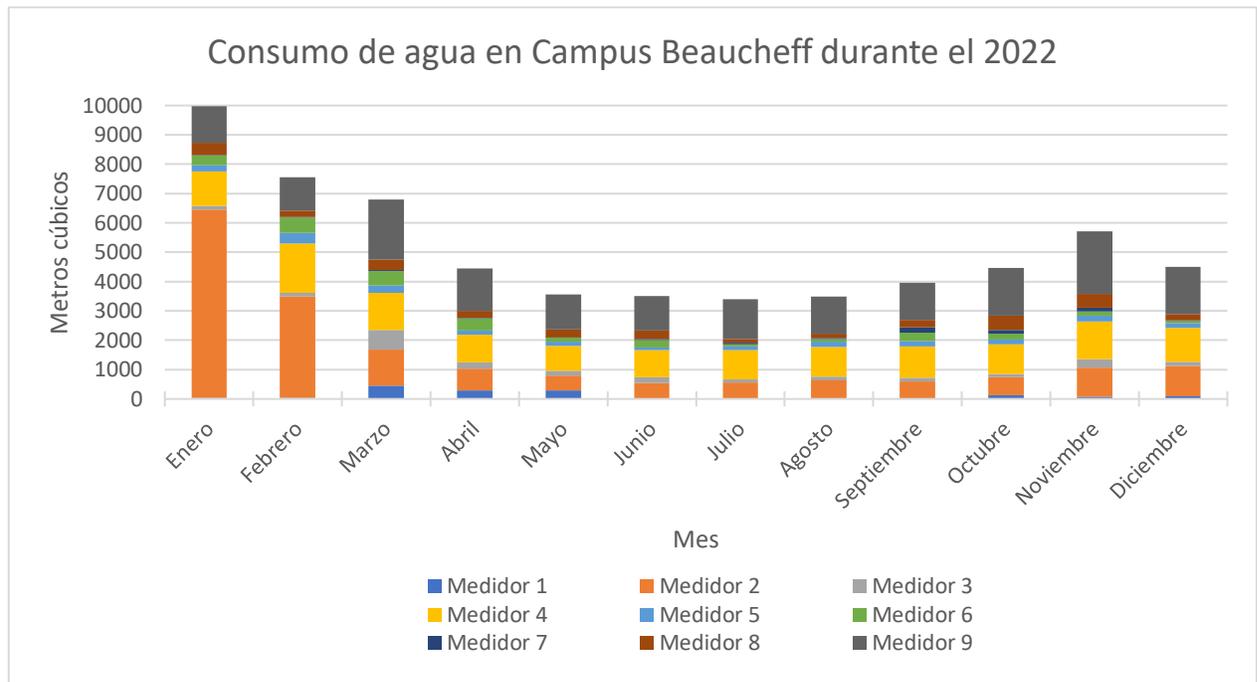


Figura 3: Consumo de agua registrado por boletas en la FCFM 2022

Lo primero que destaca en la Figura 3 es el alto consumo registrado por el Medidor 2 durante los meses de enero y febrero. Este incremento se debe a una fuga de agua que fue detectada y posteriormente reparada por la Universidad en el mes de marzo. Tras dicha reparación, el consumo se mantiene relativamente constante durante el resto del año.

En segundo lugar, se observa el efecto de la estacionalidad. Durante los meses de menor temperatura y mayor cantidad de precipitaciones (de mayo a agosto), el consumo de agua en la facultad disminuye. Esto se debe tanto a la reducción en el uso de agua para riego como a una disminución en la demanda. Cabe destacar que el mes de julio presenta el menor consumo, coincidiendo con el final del primer semestre y las vacaciones previas al inicio del segundo.

Por otro lado, al aumentar las temperaturas el consumo vuelve a aumentar para luego volver a disminuir en diciembre. Este patrón se asemeja al comportamiento observado en julio, cuando el número de personas en la facultad disminuye significativamente debido al período de fin de clases y las vacaciones.

Un análisis más detallado de los patrones de consumo a lo largo del año para cada medidor se encuentra disponible en el Anexo A: Registro Boletas Aguas Andinas.

Además, a partir de este registro se obtiene el consumo anual de cada medidor, los cuales se presentan en la Figura 4.

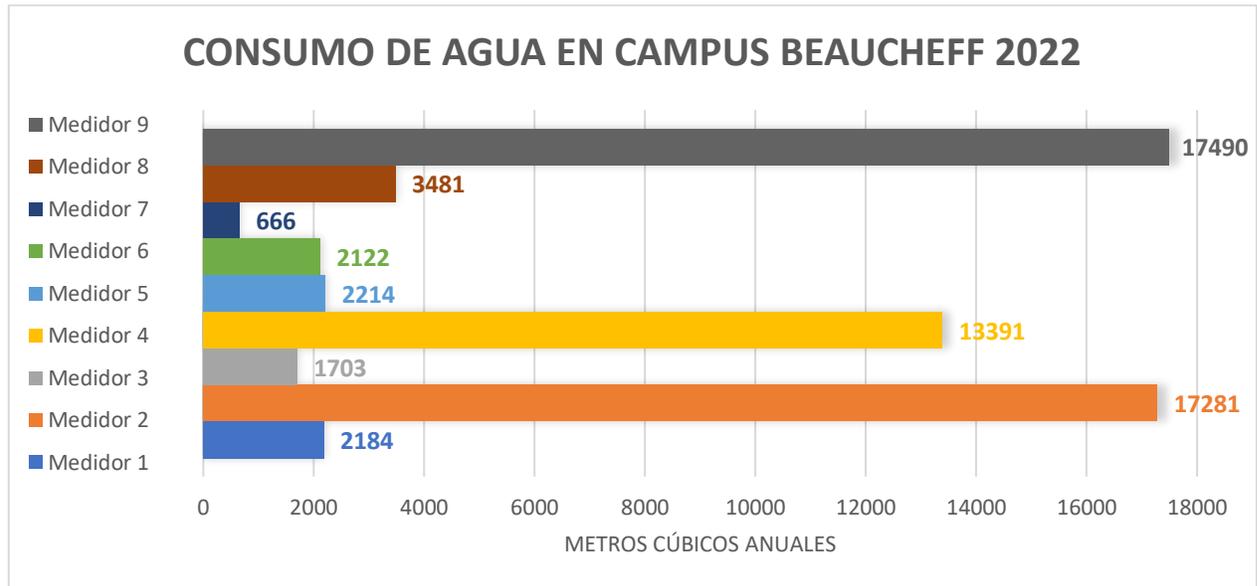


Figura 4: Consumo de agua anual para cada medidor en la FCFM 2022

De la Figura 4, se puede concluir que el consumo total para el año 2022 en la FCFM fue de 60,532 m<sup>3</sup>. Además, los tres mayores consumos corresponden a los medidores 2, 4 y 9, representando aproximadamente el 90% del consumo total. Es esperable que el medidor 9 presente un alto consumo, ya que registra el uso de agua de todo el complejo Beaucheff 851, que incluye tres edificios importantes, instalaciones deportivas con sus respectivos camarines y una zona no extensa de áreas verdes. Por otro lado, los Medidores 2 y 4 están fuertemente relacionados con el riego y las pérdidas mencionadas en enero y febrero.

### 3.3 Conclusiones Parciales

Tras identificar los medidores ubicados en las instalaciones de la facultad y llevar un registro del consumo a partir de las facturas de agua, es posible medir el consumo de agua en la FCFM. A partir de este análisis, se identifica un patrón estacional en el uso del agua, relacionado principalmente con el riego. Se observa una disminución en el consumo durante los períodos de lluvias y un aumento significativo en los meses de mayor temperatura.

Por otro lado, se ha identificado una correlación entre los meses de julio y diciembre y la cantidad de estudiantes, observando una disminución en el uso de agua en los meses en que finaliza el semestre académico.

Además, se destaca un alto consumo asociado a pérdidas en el Medidor 2, el cual experimentó una disminución significativa en su consumo una vez que se repararon dichas pérdidas.

Finalmente, a partir de esta información, se registró que el consumo total de agua para el año 2022 en la FCFM fue de 60,532 metros cúbicos. Se identificaron los medidores con un mayor uso de agua, siendo los medidores 2, 4 y 9, los cuales representan aproximadamente el 90% del consumo total y presentan una mayor oportunidad de mejora.

De esta manera se cumple el primer objetivo específico de registrar el consumo de agua a partir de mediciones directas.

# Capítulo 4

## Estimaciones de consumo

Para entender el uso de agua en la FCFM es necesario estimar el consumo de las principales actividades en la facultad: Artefactos sanitarios, Riego de áreas verdes, Uso en laboratorios, Uso y Mantenimiento de la piscina y Pérdidas por roturas. Este capítulo explica la metodología utilizada para estimar el consumo, sus resultados y conclusiones finales para cada actividad.

### 4.1 Artefactos Sanitarios

Se definen como artefactos sanitarios a aquellos dispositivos utilizados en baños, duchas, camarines y lavaplatos. Estos se pueden clasificar en dos grupos: artefactos de flujo y artefactos de descarga. Los primeros incluyen lavamanos, lavaplatos y duchas, mientras que los artefactos de descarga abarcan inodoros y urinarios.

Para estimar su consumo, es esencial contar con la siguiente información:

- Línea base de artefactos sanitarios.
- Flujo de artefactos por edificio.
- Calendario de clases.
- Número de usuarios por edificio.

Esta información se recopilará mediante mediciones, en colaboración con el apoyo de la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad (OIS). Con estos datos, se podrá estimar el consumo esperado según el edificio y el medidor supuesto.

#### 4.1.1 Metodología – Artefactos Sanitarios

Con el fin de estimar el consumo de los artefactos sanitarios, se siguió una metodología basada en la ecuación empleada por LEED<sup>14</sup> para el cálculo del uso de agua en dichos artefactos. La ecuación se presenta a continuación.

$$\begin{array}{l} \text{Uso de} \\ \text{agua diario} \\ \text{para cada} \\ \text{artefacto} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Flujo del} \\ \text{artefacto} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Duración} \\ \text{de uso} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Usuarios} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Usos al día} \\ \text{por usuario} \end{array} \quad (1)$$

*Ecuación 1: Uso de agua diario para cada artefacto*

Donde:

- Flujo del artefacto: Corresponde al caudal de agua, que se mide en litros por segundo (l/s) para los artefactos de flujo y en litros por descarga (l/descarga) para los artefactos de descarga.
- Duración de uso: Es el tiempo durante el cual se utiliza el artefacto. Para los artefactos de descarga, equivale al tiempo de una descarga, mientras que, para los artefactos de flujo, corresponde al tiempo en el que el artefacto está en uso, medido en segundos.
- Usuarios: Representa el número de personas que utilizan los artefactos. Cuando se dispone de información específica de género, se realiza una distinción en función del género de los usuarios. En caso contrario, se asume una distribución equitativa del 50/50.
- Usos al día: Indica la cantidad de veces al día que un usuario utiliza un artefacto. Este valor varía dependiendo del tipo de artefacto y el tiempo que los usuarios pasan en el espacio de la facultad.

Esta ecuación se empleará para calcular el consumo diario de agua, una vez se tiene este consumo se proyectará según los días que estuvo abierta la facultad cada mes para así determinar el uso total anual.

Dado que tanto los usuarios como el caudal de los artefactos son datos particulares para cada edificio, es esencial reunir la información correspondiente a cada espacio dentro de la facultad. Con la ayuda del calendario de clases, será posible determinar el volumen mensual de agua utilizado por cada artefacto en cada edificio, lo que permitirá caracterizar y comparar dicho volumen con los registros de consumo de agua proporcionados por las boletas.

A continuación, se presenta cada parámetro:

- Usuarios:

Se distinguen 3 grupos importantes: Trabajadores ETC, alumnos y “población flotante”

- Trabajadores Equivalentes a Tiempo Completo:

Se refiere al número de trabajadores que equivalen a un tiempo completo (en adelante, ETC). Por lo tanto, los académicos o funcionarios a media jornada corresponden a medio trabajador ETC. A partir de una inspección y en coordinación con cada departamento, se construye la siguiente Tabla 1: “Número de usuarios ETC por edificio” con la información correspondiente para cada edificio.

Tabla 1: Número de usuarios ETC por edificio

Edificio	ETC
Física	37,5
Geofísica	31
Geología	30,5
Civil	89,5
Química	44
Eléctrica	49,5
Computación	78
Escuela	89,5
Justicia Espada	163,5
Beaucheff 851	213,5

o Alumnos y alumnas:

Con el fin de determinar la cantidad de alumnos que transitan por un edificio, se recopila la información a partir de la descripción en la plataforma UCAMPUS. A través de esta fuente, se obtiene la información sobre los cursos impartidos en la universidad, junto con la ubicación de las aulas y los edificios correspondientes. Asimismo, se obtiene el número de estudiantes inscritos en cada curso. De esta manera, se calcula la frecuencia diaria y mensual de usuarios en cada edificio, y se presenta un resumen en la Tabla 2: “Número de alumnos por edificio en FCFM 2022”.

Tabla 2: Número de alumnos por edificio en FCFM 2022

Número de alumnos por edificio										
Días de clases	19	21	23	21	21	23	17	18	18	20
Edificio	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Beaucheff 851	48287	55643	46963	55838	9194	50854	50169	59595	54164	31207
Computación	55091	59464	50193	59441	6421	51111	45125	55472	50208	15682
Eléctrica	12034	13371	10906	12279	1420	13061	12876	14464	13151	3437
Escuela	34899	37336	31335	35691	3770	23388	24036	28033	23553	6168
Geología	47436	50895	41293	46247	6176	40629	40525	49172	44817	15356
Química	25582	29682	25475	27769	3595	19317	18762	22215	19673	5685
Física	25687	29359	24677	28720	4274	19180	19844	23072	21127	6134
Geofísica	531	655	541	537	0	306	294	348	315	38

o Población flotante:

Aunque con la información de usuarios anterior se cumple con la metodología LEED para el cálculo del consumo de agua, existe un grupo importante de personas que no está contemplado en esta metodología. Nos referimos a los estudiantes que permanecen en la

universidad después de sus clases, quienes asisten a la universidad para trabajar en laboratorios o completar trabajos de tesis. A este grupo de estudiantes lo denominaremos “población en tránsito” y se estima que son 1500 personas en el sector de Beaucheff 850 y 1000 personas en Beaucheff 851. Esta estimación se lleva a cabo a partir de la capacidad de los espacios públicos de estudio como lo son la biblioteca o la sala de estudio denominada por los estudiantes “pajarera”. Sin embargo, es importante señalar que esta estimación afecta directamente el cálculo final por lo que su variación será necesaria a través de un análisis de sensibilidad.

De manera similar, es necesario considerar a los funcionarios de aseo y de otros departamentos que mantienen las instalaciones de la facultad. Estos 500 funcionarios trabajan a jornada completa y serán incluidos como usuarios del edificio Beaucheff 851, dado que es en este edificio donde se encuentran los camarines y baños que se utilizan con mayor frecuencia.

Además de lo anteriormente mencionado, es necesario considerar los espacios destinados al deporte recreativo, las instalaciones de entrenamiento de las distintas disciplinas y los cursos deportivos que se ofrecen en la facultad. Estos espacios generan un consumo adicional relacionado con el uso de los camarines después de la práctica deportiva. Es importante destacar que tanto estudiantes como funcionarios hacen uso de estas instalaciones.

Para el cálculo de uso, se lleva a cabo un estudio de un mes de uso de las instalaciones. A partir de este análisis, se determina un uso diario promedio y, con base en esta cifra, se proyecta el consumo para el resto de los meses del año, teniendo en cuenta los días en que los espacios deportivos estuvieron disponibles. Se puede encontrar un ejemplo de cálculo en el Anexo B: Parámetros artefactos sanitarios. Es necesario señalar que este cálculo se basa en el supuesto de que todos los usuarios de los espacios deportivos se duchan posteriormente y que en enero los alumnos y funcionarios utilizan los espacios deportivos con la misma frecuencia que el resto del año.

Se presenta un resumen de los usuarios mensuales en la siguiente Tabla 3: “Número de usuarios en instalaciones deportivas de FCFM 2022”.

*Tabla 3: Número de usuarios en instalaciones deportivas de FCFM 2022*

Número de usuarios de las distintas instalaciones deportivas												
Días de uso habilitados	21	0	19	22	23	20	21	23	17	18	18	20
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Alumnos	5253	0	4753	5504	5754	5003	5254	5754	4253	4503	4503	5003
Funcionarios	146	0	132	153	160	139	146	160	118	125	125	139

DR's	0	0	4590	5315	5557	4832	5074	5557	4107	4349	4349	4832
------	---	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Con esto se determina el número de usuarios que utilizan los artefactos sanitarios durante el año en la facultad.

- Flujo de los artefactos:

Para determinar el flujo de los artefactos sanitarios, se llevó a cabo un estudio de línea base (Anexo B: Parámetros artefactos sanitarios) donde se identificó el tipo y la cantidad de artefactos sanitarios en cada edificio. Posteriormente, a través de mediciones empíricas para los diferentes tipos de artefactos, se establecieron los parámetros de flujo específicos para cada edificio. A continuación, en la Tabla 4: “Parámetros de flujo de artefactos sanitarios en Geología”, se presenta un ejemplo de los flujos determinados, mientras que el Anexo B: Parámetros Artefactos Sanitarios, muestra los parámetros correspondientes para el resto de los edificios.

Tabla 4: Parámetros de flujo de artefactos sanitarios en Geología.

Edificio Geología	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,104	l/s	0,167
	Cuello cisne	0,085	l/s	
	Pulsador	0,282	l/s	
	Pulsador	0,216	l/s	
	Pulsador	0,149	l/s	

- Duración y frecuencia de uso:

Estos parámetros se derivan de la metodología LEED utilizada para calcular el consumo de agua previsto en un edificio<sup>14</sup>. Se presentan resumidos en la Tabla 5: Parámetros de duración y frecuencia de uso de los artefactos sanitarios por usuario” a continuación.

Tabla 5: Parámetros de duración y frecuencia de uso de los artefactos sanitarios por usuario

Usos diarios					
Artefacto	Duración	Unidad	ETC	Alumnos*	Población flotante*
Inodoro M	1	Descarga	3	0,6	1,5
Inodoro H	1	Descarga	1	0,2	0,5
Urinario	1	Descarga	2	0,4	1
Lavamanos	30	Segundos	6	0,6	1,5
Ducha	300	Segundos	0,1	0	0
Lavaplatos	15	Segundos	1	0,2	0,5

En esta tabla los artefactos de flujo (inodoros y urinarios) tienen una duración en descargas que les permite operar con el flujo correspondiente (litros/descarga), mientras que los artefactos de flujo (lavamanos, ducha y lavaplatos) tienen una duración que corresponde al tiempo de uso de cada artefacto en segundos. Además, el uso diario de los alumnos y la población flotante se establece siguiendo la referencia LEED, pero adecuándola para relacionar las 8 horas de los Equivalentes a Tiempo Completo (ETC) y los bloques de clases de 1,5 horas para los alumnos y suponiendo un tiempo de estancia en la universidad de 4 horas [Referencia a la encuesta] a la población flotante.

Con todos los parámetros determinados, se utiliza la ecuación 1 para estimar el uso de agua en todos los edificios durante todo el año con la excepción del mes de febrero, ya que según la Tabla 3: "Número de usuarios en instalaciones deportivas de FCFM 2022", no hay usuarios durante este mes debido a que la facultad permanece cerrada, sin embargo, esta sí tiene una población flotante, de manera de que se toma el supuesto de que, para el mes de febrero el aporte de los artefactos sanitarios será el 10% del aporte en enero en cada edificio, con la excepción de las instalaciones deportivas ya que estas se cierran por completo. De esta manera se contabiliza el uso de los artefactos sanitarios durante febrero el cual se sabe es distinto a cero

Así, se estima la contribución mensual de los artefactos sanitarios para cada edificio de la facultad durante el año 2022.

#### 4.1.2 Resultados y Discusiones – Artefactos Sanitarios

Teniendo en cuenta todas las consideraciones previas, se calcula el consumo de agua asociado al uso de artefactos sanitarios en cada edificio para el año 2022. Esto se presenta en la Figura 5: “Consumo de agua estimado por parte de los artefactos sanitarios en FCFM 2022” a continuación.

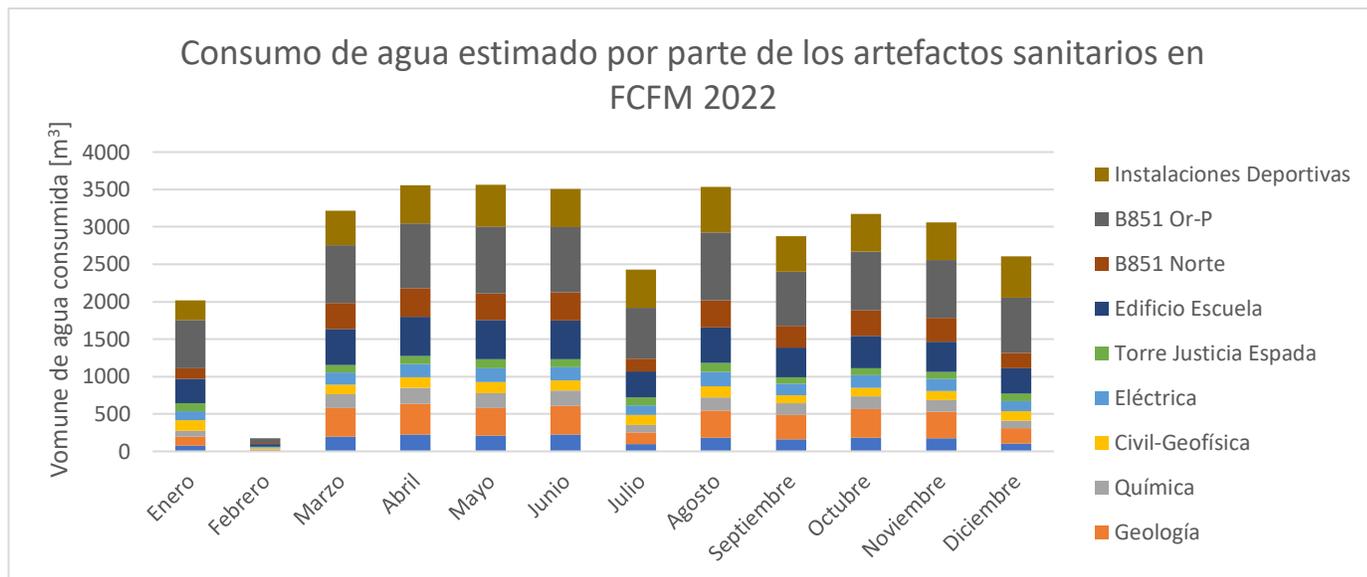


Figura 5: Consumo de agua estimado por parte de los artefactos sanitarios en FCFM 2022

De la figura anterior, se observa que el consumo de agua de los artefactos sanitarios está directamente relacionado con la cantidad de personas presentes en la facultad. Esta relación es intuitiva y se evidencia claramente en los meses de julio y diciembre, que coinciden con el cierre de semestres y la finalización de actividades académicas. Por otro lado, se observa una disminución en el consumo durante el mes de septiembre, debido a la semana de descanso extendida relacionada con las celebraciones de las fiestas patrias en dicho mes. Además, enero presenta un consumo relacionado con la población flotante, usos de gimnasios y los funcionarios que siguen trabajando durante este mes, ya que no hay clases el consumo disminuye considerablemente. Por último, febrero muestra un consumo casi nulo, esto debido al supuesto que de que el 10% de los que se consume en cada edificio durante el mes de enero corresponde al consumo en febrero, exceptuando el aporte de los espacios deportivo ya que estos se cierran completamente durante este mes. Este supuesto se toma ya que si bien se cierra la universidad sigue existiendo un consumo por artefactos sanitarios ya que una porción mínima de personas es la que asiste a la universidad durante

este mes, este supuesto permite acercarse a la realidad ya que considerar que no hay flujo de personas no sería correcto.

Con respecto al consumo de agua relacionado con las instalaciones deportivas, esta se mantiene en su mayoría constante. Esto se debe a que su consumo no está vinculado a la cantidad de clases, sino más bien a los días en que la universidad está abierta. Por lo tanto, durante un mes en el que no se dictan muchos cursos, se asume que los estudiantes y otros usuarios seguirán utilizando las instalaciones deportivas de manera similar. Por otro lado, el consumo en el resto de los edificios muestra variaciones debido a los cambios en la afluencia de personas a lo largo de los meses, relacionados con el calendario académico o las vacaciones. El total de agua consumida por cada edificio se presenta en la Figura 6: “Estimación de uso de agua anual por artefactos sanitarios en cada edificio para el 2022”.



Figura 6: Estimación de uso de agua anual por artefactos sanitarios en cada edificio para el 2022

A partir de la Figura 6, se puede observar que los principales consumidores se encuentran en el edificio B851Or-P, el Edificio Escuela, B851 Norte y Geología. Estos edificios albergan la mayoría de los departamentos en la facultad y tienen un mayor flujo de estudiantes. Además, las instalaciones deportivas representan el tercer mayor consumo debido a la demanda generada por las duchas.

Con el fin de analizar el aporte porcentual de cada tipo de artefacto en cada edificio, se presenta la Tabla 6: “Porcentaje de consumo de cada artefacto por edificio”.

Tabla 6: Porcentaje de consumo de cada artefacto sanitario por edificio

Edificio	Artefacto Sanitario				
	Inodoro	Urinario	Lavamanos	Lavaplatos	Ducha
Física	33%	19%	48%	-	-
Geología	31%	18%	51%	-	-
Química	36%	20%	44%	-	-
Civil-Geofísica	32%	18%	50%	-	-
Eléctrica	34%	20%	45%	-	-
Torre Justicia Espada	39%	19%	42%	-	-
Edificio Escuela	24%	15%	49%	1%	11%
B851 Norte	41%	26%	33%	1%	-
B851 Or-P	41%	22%	36%	1%	1%
Instalaciones deportivas	2%	1%	1%	-	97%

Al analizar esta tabla, resulta interesante observar que en los edificios donde no se encuentran duchas, los usos de inodoros, urinarios y lavamanos varían significativamente. Esto se debe a que los flujos de los artefactos son diferentes en cada edificio, lo que resulta en una falta de uniformidad en los porcentajes de consumo. Se tomó como supuesto que los inodoros y urinarios tienen el mismo flujo en todos los edificios, pero el flujo de los lavamanos se determinó específicamente para cada edificio a través de mediciones empíricas de las llaves representativas. Esto explica las diferencias en los porcentajes.

Además, se ha trabajado bajo la suposición de que el Edificio Escuela y los edificios del sector de Beaucheff 851 son los únicos que utilizan lavaplatos, al analizar los consumos se refleja la baja contribución que estos tienen en comparación con el resto de los artefactos.

Finalmente, en las instalaciones deportivas las duchas representan el 97% del consumo total de agua. Esto las convierte en la principal fuente de consumo del edificio. La Figura 7: “Porcentaje de consumo de agua de los artefactos sanitarios en FCFM 2022” muestra la contribución que tiene cada artefacto con respecto al total del uso de agua dentro de esta actividad.

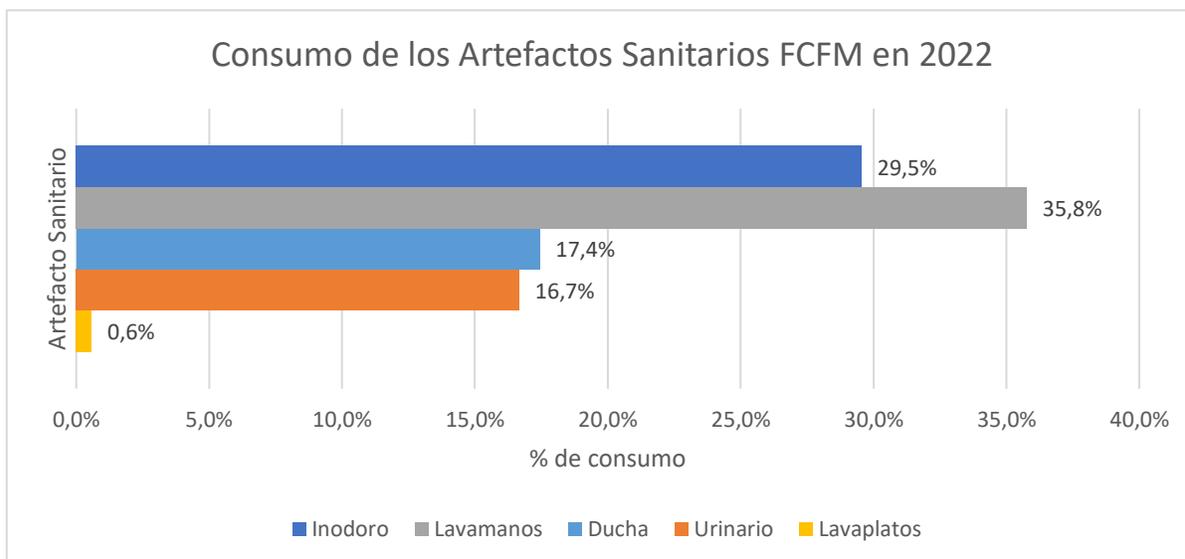


Figura 7: Porcentaje de consumo de agua de los artefactos sanitarios en FCFM 2022

A partir de la Figura 5 se observa que los artefactos de mayor consumo son el inodoro y el lavamanos, siendo este último el que presenta la mayor variabilidad en cuanto a flujo. Mientras que se asume que los inodoros y urinarios tienen flujos estándar, se realizaron mediciones de las distintas llaves en los edificios para calcular el consumo de los lavamanos, lo que evidenció la variabilidad en los flujos.

Por otro lado, las duchas representan el 17,4% del consumo total, valor no despreciable y este porcentaje podría ser aún mayor en un año en el que la piscina y sus camarines estén en funcionamiento durante todo el año.

#### 4.1.3 Conclusiones Parciales - Artefactos Sanitarios

A partir de la ecuación 1 se estima el consumo de los distintos artefactos sanitarios en la facultad, diferenciando el consumo por edificio. El cálculo depende de: la frecuencia de uso de los artefactos, su flujo, el tiempo de residencia en la facultad y el número de usuarios que utilizan cada artefacto. Es este último parámetro el que hace que la Figura 3 tenga una relación muy marcada con el calendario académico. Esto se refleja en los meses de Julio y diciembre, que son los meses en los que se cierra el semestre y finalizan las clases, siendo los de menor consumo, exceptuando febrero. Durante este último se estima el consumo a partir del uso durante enero, esto ya que se sabe que el consumo es distinto de cero, pero no se tiene un buen dato sobre la población flotante y el tiempo de residencia en la facultad para este mes.

Otro parámetro importante es el flujo de los artefactos. Aunque se asume que el flujo del inodoro y el urinario es constante según el flujo estándar de estos artefactos, el flujo de los lavamanos varía en los distintos edificios de la facultad. Esto representa una oportunidad

importante para reducir el consumo de agua, ya que normalizar y controlar el flujo de los lavamanos puede tener un impacto significativo en la disminución del consumo ya que estos representan el 35% del uso de agua en esta actividad.

Además, se observa que, dentro de los distintos edificios, los mayores consumidores son el complejo de edificios B851Or-P y el edificio escuela. Ambos albergan un gran número de clases y alumnos durante el año, por lo que se espera que tengan el mayor consumo. En el primero, el inodoro es el artefacto de mayor consumo (41%), mientras que en el edificio escuela, es el lavamanos (49%). Esto se debe a que el flujo de las llaves en el edificio B851Or-P es menor en comparación con el edificio escuela, ya que estos últimos cuentan con artefactos sanitarios de bajo consumo.

Finalmente, los artefactos de mayor consumo son el inodoro y el lavamanos, representando el 29,5% y el 35,7%, respectivamente. El lavamanos se destaca por su frecuencia de uso, asumiendo que cada vez que se utiliza un artefacto de descarga, se utiliza el lavamanos. Por otro lado, el inodoro destaca debido a su flujo de descarga y su alto uso asociado. Le siguen el urinario y las duchas con un 16,7% y un 17,4%, respectivamente, siendo las duchas utilizadas principalmente por quienes utilizan las instalaciones deportivas, un número menor en comparación con los otros artefactos. Por último, el lavamanos representa el 0,6% del consumo de agua y no es significativo dentro de los edificios en los que se encuentra.

De esta manera, se estima el consumo de los artefactos sanitarios, identificando los artefactos de mayor consumo y los edificios en los que se debe enfocar para reducir el uso de agua.

## 4.2 Riego de áreas verdes

El consumo de agua en riego corresponde al agua utilizada para el riego de las áreas verdes de la facultad. Este riego se lleva a cabo de tres maneras distintas: mediante un sistema de riego automático instalado, aspersores adaptados a mangueras y riego directo desde una manguera. Para calcular el volumen de agua utilizado en el riego, es esencial contar con la siguiente información:

- Itinerario de riego.
- Volumen diario.

Esta información se recopilará a través de mediciones empíricas y en colaboración con el equipo de paisajismo de la facultad. Con estos datos, será posible estimar el consumo de agua utilizado en el riego.

### 4.2.1 Metodología – Riego de áreas verdes

Para estimar el consumo de agua, se calcula el consumo en un día típico y luego, utilizando el itinerario anual, se extrapola el consumo para cada mes.

El cálculo del uso diario se basa en la Ecuación 2: “Cálculo uso diario de agua en riego” detallada a continuación:

$$Volumen_{diario} = \sum_i^{n} Flujo_i * tiempo_i \quad (2)$$

*Ecuación 2: Cálculo uso diario de agua en riego*

Donde:

- $Flujo_i$  = Corresponde al caudal de agua de la fuente de riego, que puede ser una manguera, un aspersor o un sistema de riego automático.
- $Tiempo_i$  = Representa la duración durante la cual la fuente de agua se mantiene abierta para el riego.

Se mide el caudal de las diferentes áreas verdes en la facultad y se registra el tiempo de uso de las mangueras, sistemas de riego automático y aspersores. Además, se mide el caudal de agua de las diversas fuentes de suministro. De esta manera, se calcula el volumen de agua utilizado en un día típico de riego.

Para determinar el itinerario de riego, se siguió el protocolo establecido por el equipo de paisajismo de la facultad, detallado en el Anexo C: Riego, el cual explica qué días se riega durante el año, más detalles al respecto se encuentran en el Anexo C: Riego. La Tabla 7: “Días de riego en la facultad” muestra el número de días que se regó durante el 2022.

Tabla 7: Días de riego en la facultad

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días de lluvia	1	1	1	5	3	12	12	9	6	0	4	0
Días de riego	25	24	27	20	23	10	8	8	24	25	26	24

Con toda esta información, se puede estimar el consumo de agua utilizado en el riego.

#### 4.2.2 Resultados y Discusiones – Riego de áreas verdes

El volumen de agua diario registrado por las distintas fuentes se detalla en la Tabla 8: “Volumen de agua consumida en el riego a diario” a continuación, más detalles del cálculo de estos volúmenes pueden encontrarse en el Anexo C: Riego. Además, esta tabla cuenta con la superficie cubierta por cada artefacto de riego.

Tabla 8: Volumen de agua consumida en el riego a diario

Artefacto de riego	Volumen diario [m <sup>3</sup> ]	Superficie cubierta [m <sup>2</sup> ]	Rendimiento [litros/m <sup>2</sup> ]
Manguera	25,31	3374	7,50
Riego automático	3,09	752	4,11
Riego aspersor	1,92	415	4,63

A partir de la Tabla 8: “Volumen de agua consumida en el riego a diario” además del volumen diario, se puede comparar el uso de suelo que tienen cada artefacto de riego, el uso de riego por manguera cubre cerca del 75% de las áreas verdes y es la que tiene el menor rendimiento de [litros/m<sup>2</sup>].

Utilizando la información de esta tabla y la de la Tabla 7: “Días de riego en la facultad” se construye la Figura 8: “Volumen de agua utilizada en riego durante el año 2022”, la cual muestra el volumen de agua consumida durante el año.

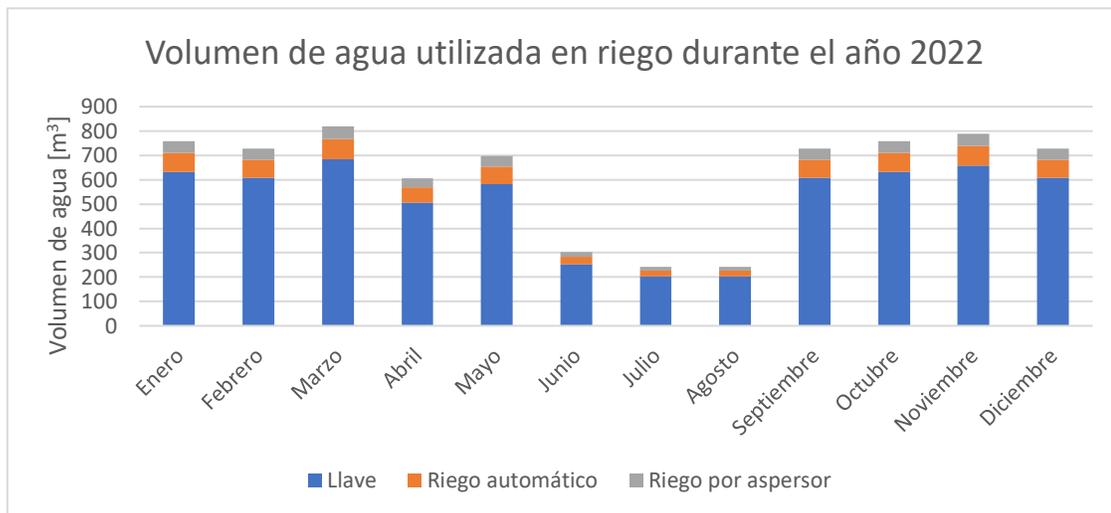


Figura 8: Volumen de agua utilizada en riego durante el año 2022

A partir de la Figura 8 se aprecia una clara relación entre el riego y las estaciones lluviosas. Durante el invierno (de junio a agosto), se registra una disminución significativa en el uso de agua, mientras que en los demás meses se mantiene un consumo constante, siendo julio el mes con menor consumo. En particular, se observa que las mangueras son los principales consumidores. Esto se debe a que el uso del riego automático es bastante limitado debido al escaso mantenimiento de estos sistemas; solo se utiliza el riego automático que está en funcionamiento, no todo el sistema instalado. Por otro lado, los auxiliares de paisajismo se encargan de áreas extensas de riego, utilizando mangueras para inundar un sector mientras riegan otro, lo que a veces resulta en un uso excesivo de agua. Por último, el diseño de las áreas verdes implica un alto consumo de agua, ya que requiere riego diario para su mantenimiento. Además, no hay una estrategia de ubicación de especies, lo que provoca que se rieguen todos los sectores todos los días, en vez de ubicar las especies de menor demanda hídrica juntas para evitar regarlas junto a las de cuidado diario.

Por otro lado, el sector de Beaucheff 851 cuenta con un sistema de riego basado en el tratamiento de aguas grises instalado; sin embargo, este no se utiliza debido a que la planta de tratamiento se encuentra en proceso de mantenimiento, por lo que en su lugar se utiliza riego con manguera.

#### 4.2.3 Conclusiones Parciales – Riego de áreas verdes

A partir de la ecuación 2, y considerando el volumen de agua diario y el itinerario de riego, es posible estimar el consumo de agua relacionado con el riego. Es evidente que el riego muestra un comportamiento directamente influenciado por los periodos de lluvia en Santiago, en particular para el año 2022, que se concentraron en los meses de junio a agosto. En estos meses, el uso de agua disminuyó en más del 50%. Cabe destacar que el artefacto

que más agua consume es la manguera, esto se debe a que es el artefacto más utilizado para el riego y es la técnica con menor rendimiento por m<sup>2</sup>, si se utilizara riego automático o aspersores en mayor área se podría reducir el uso de agua.

Finalmente, se identifica una oportunidad de mejora al analizar el tipo de áreas verdes presentes en la facultad. Cambiar a especies de menor consumo de agua tendrá un impacto directo en la reducción del consumo de agua. Además, la recuperación de la planta de tratamiento de aguas grises permitirá aprovechar ese volumen para el riego del sector de Beaucheff 851, lo que también contribuirá a la reducción del consumo.

## 4.3 Uso en laboratorios

Otra fuente de consumo identificada se relaciona con el uso de agua en los laboratorios, la cual está asociada con la utilización de equipos que requieren agua o con la necesidad de limpiar los materiales de laboratorio. Para calcular el volumen de agua utilizado en los laboratorios, es necesario contar con la siguiente información:

- Equipos de mayor consumo.
- Línea base de equipos en la facultad.

Esta información se recopilará mediante visitas a los laboratorios que presenten un mayor consumo de agua.

### 4.3.1 Metodología – Uso en laboratorios

El primer paso para estimar el consumo de agua en los laboratorios es identificar los equipos que demandan una cantidad significativa de agua. Esto se logró a través de la comparación de una línea de base obtenida de un estudio previo<sup>15</sup> y una inspección actual llevada a cabo en los laboratorios con el propósito de identificar cualquier equipo que muestre un consumo destacado de agua. Además, en los laboratorios cuyo consumo esté principalmente relacionado con la limpieza de materiales de laboratorio, se establece un día de lavado representativo para estimar el consumo anual en el transcurso del año. Una vez que se ha recopilado la información sobre estos equipos, se procede a estimar su consumo anual basándose en su uso.

### 4.3.2 Resultados y Discusiones – Uso en laboratorios

Los equipos que presentan un mayor consumo de agua en su funcionamiento son el destilador de agua y el equipo generador de nitrógeno líquido. Esto se debe a la elevada demanda de recursos, a saber, agua destilada y nitrógeno líquido, por parte de estos equipos en comparación con el resto de los equipos de laboratorio en la facultad.

Se asume que la mayoría de los equipos tienen un consumo similar al de un destilador típico que se encuentra en el edificio Civil y en el laboratorio del CEBIB. Con base en esta suposición, se estima el consumo anual de agua, como se muestra en la tabla siguiente. Más detalles del cálculo se pueden ver en el Anexo D: Laboratorios. La estimación del uso total de agua se presenta en la Tabla 9: “Consumo de agua en laboratorios por edificio en FCFM 2022” a continuación:

Tabla 9: Consumo de agua en laboratorios por edificio en FCFM 2022

Edificio	m <sup>3</sup> /año
Beaucheff 851 Norte	-
Beaucheff 851 Oriente-Poniente	554,4
Eléctrica	7,8
Torre Justicia Espada	-
Civil-Geofísica	243,4
Geología	47,5
Física	148
Química	589,9

A partir de la Tabla 9 se puede apreciar que el edificio de Química, donde se encuentra el condensador de nitrógeno, presenta el mayor consumo de agua, seguido por el edificio Beaucheff Oriente-Poniente, que alberga una mayor cantidad de laboratorios. Por otro lado, el uso de agua en los laboratorios no parece constituir una fuente significativa de consumo de agua, ya que su estimación anual es de dos órdenes de magnitud menor que las otras fuentes.

#### 4.3.3 Conclusiones Parciales – Uso en laboratorios

Para concluir, utilizando la metodología propuesta y la información recopilada en la línea base de equipos por laboratorio, se estima el consumo de agua en los distintos laboratorios de la facultad. No obstante, esta estimación se basa en un equipo de referencia para calcular el consumo en el resto de los laboratorios. A pesar de esta limitación, es importante destacar que el uso de agua desde esta fuente no es significativo en comparación con el consumo en artefactos sanitarios o para riego.

## 4.4 Mantención de la piscina

Dentro de las instalaciones de Beaucheff 851 Oriente-Poniente se encuentra una piscina semiolímpica en la que alumnos, docentes y funcionarios pueden practicar natación. Durante el año 2022, esta piscina estuvo en mantenimiento debido a una filtración, proceso que se extendió hasta el mes de agosto. Fue en este mes cuando se completó el llenado y se habilitó nuevamente para su uso. El consumo de agua asociado a la piscina comprende tanto el llenado inicial como el mantenimiento del nivel.

Por otro lado, el uso de agua relacionado con los camarines y baños se contabiliza como parte de las instalaciones deportivas, considerada dentro de los artefactos sanitarios. Para determinar el consumo de agua de la piscina, es necesario disponer de la siguiente información:

- El volumen de la piscina.
- La cantidad de agua utilizada para mantener el nivel del agua.
- Periodo en el que se utiliza la piscina

### 4.4.1 Metodología – Mantención de la piscina

Para calcular el consumo de agua asociado a la piscina de la facultad, es necesario comenzar por conocer el volumen de agua requerido para su funcionamiento, el cual asciende a 437 m<sup>3</sup>. Siguiendo el protocolo establecido por la universidad, detallado en el Anexo E: Piscina, se procede a abastecer la piscina anualmente con una cantidad de agua equivalente a su volumen total. En consecuencia, mensualmente se debe suministrar un caudal de agua de 39,7 m<sup>3</sup>. Con esta información, y considerando los meses en los que la piscina se encuentra en uso, es posible determinar el consumo total asociado a la piscina.

### 4.4.2 Resultados y Discusiones – Mantención de la piscina

Considerando que la piscina volvió a utilizarse desde agosto, la Tabla 10: “Volumen de agua consumida por la piscina en FCFM durante el 2022” detalla el consumo mensual del agua.

Tabla 10: Volumen de agua consumida por la piscina en FCFM durante el 2022

Mes	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Volumen [m <sup>3</sup> ]	437	39,73	39,73	39,73	39,73

A partir de la Tabla 10, se observa que el mes de agosto registró el mayor consumo de agua, principalmente debido al proceso de llenado de la piscina. En los meses posteriores, se

mantuvo un consumo constante, ya que este se relaciona con la cantidad de agua necesaria para mantener el nivel de agua en la piscina. Si la piscina hubiera estado en uso durante el año anterior, todos los meses presentarían un consumo similar. Cabe destacar que el agua utilizada de manera indirecta en la piscina, como la correspondiente al uso de baños y duchas, se incluye en las estimaciones de consumo de agua de los artefactos sanitarios.

#### 4.4.3 Conclusiones Parciales – Mantención de la piscina

Se determina el volumen mensual de agua asociado al uso de la piscina en la facultad. Debido a un proceso de mantenimiento ocasionado por una fuga en meses previos, el mes de agosto se destacó como el de mayor consumo, ya que en ese periodo se llevó a cabo el llenado de la piscina. En los meses siguientes, se mantuvo un consumo constante, estableciéndose en función del volumen total de la piscina, necesario para su mantenimiento.

## 4.5 Pérdidas por rotura

En este capítulo se estimará el volumen de agua perdido por la fuga del medidor 2 registrada para en los meses de enero y febrero.

### 4.5.1 Metodología – Pérdidas por rotura

Para estimar la pérdida, se compara el consumo registrado por este medidor en los años 2021 y 2022. La diferencia entre estos dos valores representa el volumen de agua perdido.

### 4.5.2 Resultados y discusiones – Pérdidas por rotura

Al comparar los registros correspondientes a los meses de enero y febrero de 2022 y 2021 del medidor 2, se ha generado la tabla 11:

Tabla 11: Consumo medidor 2 durante enero y febrero de 2021 y 2022

Consumo Medidor 2 [m <sup>3</sup> ]		
Año	Enero	Febrero
2022	6412	3451
2021	1376	1508
<b>Pérdidas</b>	<b>5036</b>	<b>1943</b>

A partir de la Tabla 11, se observa una diferencia significativa en el consumo durante los meses de enero y febrero, con un total estimado de 6,979 [m<sup>3</sup>], de los cuales 5,000 [m<sup>3</sup>] corresponden a enero. Estos volúmenes son de vital importancia para una estimación precisa del consumo de agua, ya que contribuyen a una aproximación más cercana al uso real del recurso durante estos periodos.

Se excluyen de las estimaciones las fugas asociadas a otras fuentes como llaves en mal estado o fugas en otros medidores no identificadas

### 4.5.3 Conclusiones Parciales – Pérdidas por rotura

A partir de la metodología seguida se logra estimar las pérdidas asociadas a la fuga de agua encontradas en el medidor 2, las cuales corresponden a aproximadamente 7000 [m<sup>3</sup>], con estos valores la estimación del consumo será más cercana al comportamiento de estos meses. A pesar de esto, existe un volumen asociado a pérdidas que no se considera, las pérdidas relacionadas a otros medidores o a artefactos en mal estado no se consideran dentro del estudio.

## 4.6 Resultados de las estimaciones de consumo

Un resumen del uso de agua estimado durante el 2022 para las distintas fuentes de consumo se presenta en la Tabla 12: “Resumen consumo de agua estimado”.

Tabla 12: Resumen consumo de agua estimado

Fuente	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Aporte
Artefactos Sanitarios	33715	67 %
Riego	7318	15 %
Laboratorios	1591	3 %
Piscina	596	1 %
Pérdidas	6979	14 %
<b>Total</b>	<b>50199</b>	<b>100 %</b>

A partir de la Tabla 12: “Resumen consumo de agua estimado”, se puede observar que la principal fuente de consumo de agua está relacionada con los artefactos sanitarios, representando el 67% del total. Estos artefactos están directamente vinculados a la cantidad de personas y a la frecuencia de uso diario, por lo que cualquier variación en estos parámetros tendrá un impacto significativo en su estimación. Le siguen en importancia el riego, con un 15%, y las pérdidas registradas, con un 14%. El riego está relacionado con la cantidad de agua utilizada y la demanda de agua para mantener áreas verdes. Las pérdidas registradas se refieren a fugas identificadas durante los meses de enero y febrero, sin considerar otros posibles tipos de fugas, por lo que su contribución podría ser aún mayor.

Finalmente, tenemos los laboratorios y la piscina, que en conjunto aportan 4% del volumen estimado. Aunque el consumo de agua de la piscina durante el año 2022 comenzó en agosto y no en enero, si se considerara su contribución a lo largo de todo el año, seguiría siendo poco significativa. Lo mismo se aplica a los laboratorios, ya que el agua se utiliza principalmente para la producción de agua destilada y nitrógeno líquido.

Para analizar el consumo de cada actividad de forma desagregada se construye la Figura X: “Consumo de agua estimado en la FCFM para el año 2022 desagregado por actividad”, presente a continuación, la cual resume los valores de consumo de agua estimados para el 2022 en la FCFM según cada uso.

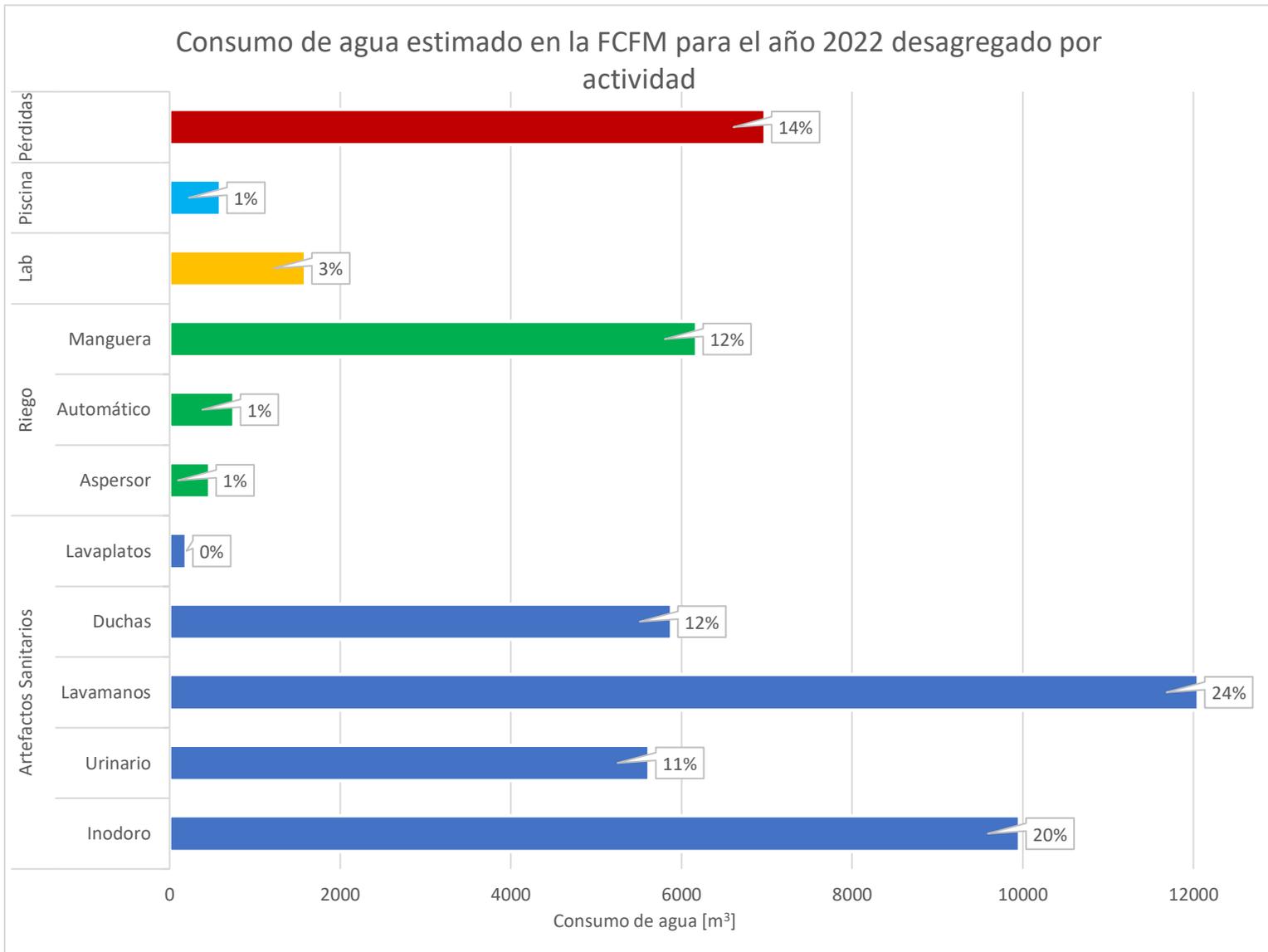


Figura 9: Consumo de agua estimado en la FCFM para el año 2022 desagregado por actividad

A partir de la figura anterior, se aprecia como los principales usos se encuentran dentro de los artefactos sanitarios en los inodoros y lavamanos, esto demuestra la oportunidad de mejora en el sistema hídrico de la facultad. Seguido a estos usos se encuentran las pérdidas con un 14%, mostrando la importancia de buscar medidas que busquen reducir y evitar pérdidas dentro del sistema. El último grupo de usos importante en la facultad corresponden al riego por manguera, duchas y urinarios, el primero de estos demuestra la necesidad de modernización del sistema, ya que se utiliza un sistema de riego poco eficiente como la principal forma de riego.

Es importante mencionar que estos resultados se basan en estimaciones las cuales deben compararse con el uso de agua registrado por las boletas, de manera de poder representar de buena manera los usos de agua en la facultad. Esta comparación se llevará a cabo en el siguiente capítulo.

# Capítulo 5

## Estimación vs Registro

Uno de los objetivos específicos del trabajo es el de comparar el registro de uso de agua con la estimación de consumo, esto es muy importante para entender el uso de agua en la facultad. En este capítulo se lleva a cabo la comparación de estos volúmenes, se muestra el error de la estimación, sus razones y el análisis de sensibilidad de los parámetros más influyentes.

### 5.1 Resumen estimaciones

Con el propósito de analizar el comportamiento de los consumos a lo largo de los diferentes meses del año, se presenta el resumen de la estimación mensual de consumo en la Figura 10: “Estimación uso de agua en la FCFM durante el 2022”.

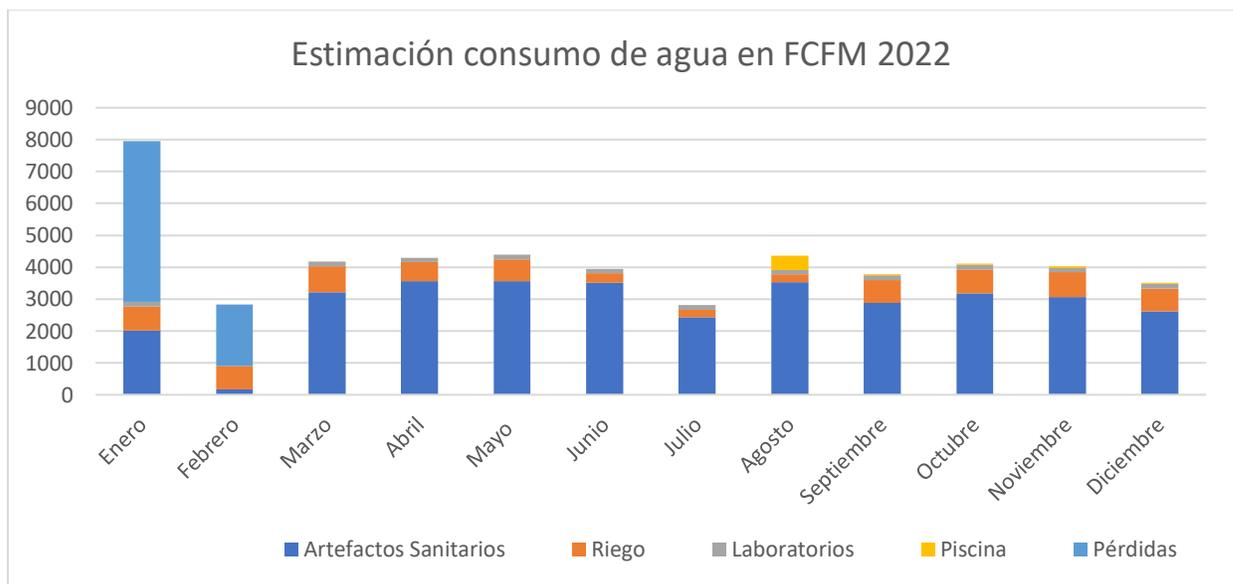


Figura 10: Estimación uso de agua en la FCFM durante el 2022

La Figura 10 brinda una visión de la distribución del consumo de agua a lo largo del año. En enero y febrero, se observa claramente la influencia de las pérdidas, que desaparecen en los meses siguientes. Por otro lado, el consumo de agua para riego se mantiene constante, excepto en los meses de mayor precipitación, como junio y julio. Fuera de enero y febrero, el uso de agua relacionado con los artefactos sanitarios es la principal fuente de consumo. Por último, el aporte de los laboratorios y la piscina es mínimo en comparación con los

consumos de artefactos sanitarios. Por último, durante el año escolar, fuera del mes de julio que marca el final del primer semestre, el consumo no parece experimentar un aumento significativo debido a la estacionalidad. A pesar del aumento en el uso de agua para riego entre septiembre y octubre, el consumo total de agua no muestra un aumento debido al calor, manteniéndose en niveles similares a los registrados entre marzo y junio, un efecto que es más evidente en la Figura 3: “Consumo de agua registrado en las boletas”.

## 5.2 Comparación

En esta sección, se llevará a cabo una comparación entre los valores estimados y los registros de consumo de agua de las facturas proporcionadas por Aguas Andinas con el fin de identificar errores en la estimación y posibles factores que puedan estar contribuyendo a estas diferencias.

En la Figura 11: “Comparación estimaciones vs boletas FCFM 2022” se compararán los resultados de la Figura 3: “Consumo de agua registrado por boletas en la FCFM 2022” y la Figura 10: “Estimación uso de agua en la FCFM durante el 2022”.

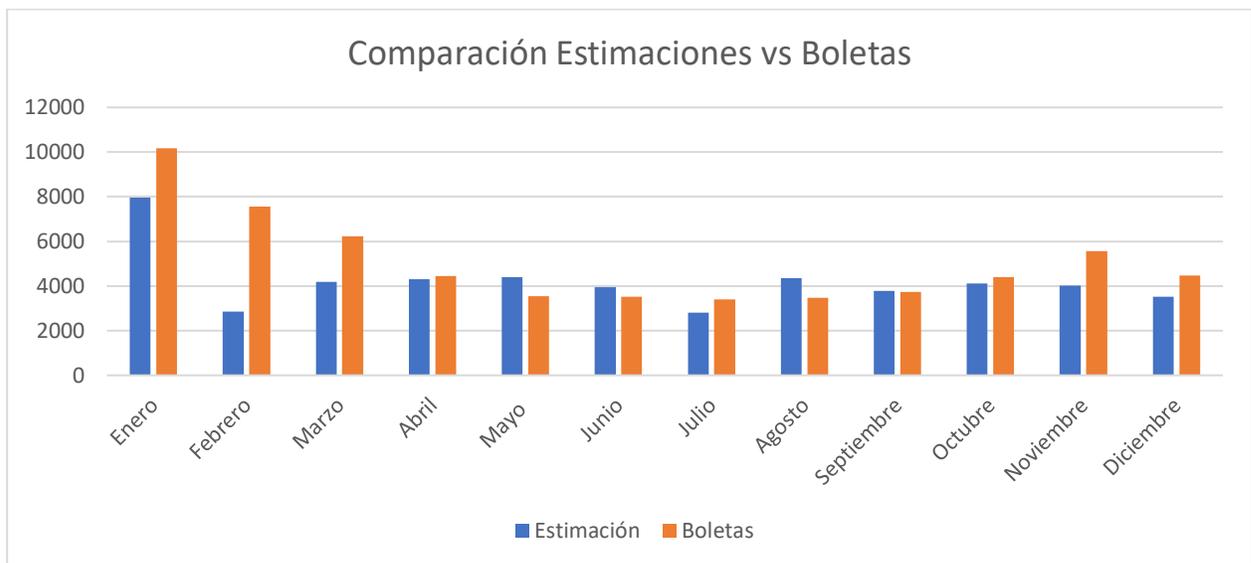


Figura 11: Comparación estimaciones vs boletas FCFM 2022

A partir de la Figura 10: “Comparación estimaciones vs boletas FCFM 2022”, se observa que las estimaciones de consumo de agua son similares durante el período de abril a octubre. No obstante, a medida que nos acercamos a los meses finales de primavera y verano, el consumo registrado en las facturas de agua aumenta, mientras que las estimaciones no reflejan un incremento estacional. Esto sugiere un aumento en el uso de agua que no se refleja en las estimaciones. Este aumento puede deberse al consumo de agua embotellada o al uso de agua para refrescarse durante estas estaciones, además de una subestimación

en el volumen de agua utilizada para riego. En la Tabla 13: “Error relativo boletas v/s estimación”, se presenta el error porcentual de cada mes y el volumen de agua que este error representa.

Tabla 13: Error relativo boletas v/s estimación

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Volumen Registrado [m <sup>3</sup> ]	10166	7561	6239	4439	3554	3512	3405	3470	3746	4411	5562	4467	60532
Volumen estimado [m <sup>3</sup> ]	7956	2846	4182	4308	4403	3953	2814	4357	3788	4119	4030	3521	50278
Diferencia de volumen [m <sup>3</sup> ]	2210	4715	2057	131	-849	-441	591	-887	-42	292	1532	946	10254
Error porcentual	22%	62%	33%	3%	-24%	-13%	17%	-26%	-1%	7%	28%	21%	17%

Basándonos en los resultados presentados en la Tabla 13, que muestran las diferencias de volumen entre los registros de las facturas de agua y el uso de agua estimado, podemos observar que febrero es el mes con el mayor error. Esta discrepancia podría deberse a una subestimación en la fuga de agua, ya que no se estimó el mismo volumen para enero y febrero, lo que podría explicar la gran diferencia. Además, parece haber una subestimación en el volumen de agua asociado al riego, ya que los meses de mayor temperatura corresponden a los meses con una mayor diferencia.

Por otro lado, los meses de cierre de semestres como julio y diciembre muestran una subrepresentación de la realidad, esto puede deberse a que la estimación considera una disminución en la asistencia debido a una menor cantidad de clases, pero no considera que los alumnos sigan asistiendo a la universidad para terminar trabajos en grupo u otras actividades que no impliquen asistir a una clase más, sí significan invertir tiempo de estudio en la universidad. Además, podría haber diferencias en el tiempo de permanencia en la facultad. Cualquier modificación en este parámetro resultaría en un aumento en el consumo.

Por último, los resultados muestran como los meses de mayo, junio, agosto y septiembre están sobreestimados, se estima mayor consumo al registrado, esto se debe probablemente a la variación de personas en la facultad durante estos meses, correspondientes a finales de semestre y meses con una menor cantidad de clases.

### 5.3 Análisis de Sensibilidad

Los resultados de las estimaciones si bien tienen un comportamiento similar al registrado por las boletas, tiene una diferencia del 17% con el volumen total del año, equivalente a 10.254 m<sup>3</sup>. Las estimaciones están sujetas a distintos supuestos y a parámetros calculados o definidos en los cálculos. Para saber el impacto que estas variaciones tienen en la

estimación se realizará un análisis de sensibilidad a aquellas que se espera sean más influyentes y así, para un trabajo futuro, ver la forma de identificar donde está el error en esta estimación y poder generar un modelo que se acerque mejor a la realidad.

Los artefactos sanitarios representan el mayor uso de agua en la facultad, dentro de estos hay dos supuestos importantes que influyen en el cálculo de uso de agua, el primero es el del flujo de los artefactos de flujo, para cada edificio se tomaron mediciones de llaves representativas pero una variación en la medición o en la presión de ese día en particular puede generar grandes cambios en el total estimado. Dentro de esta actividad otro supuesto importante es el del tiempo de residencia de la población flotante en la facultad, si bien se realiza una encuesta para representar de la mejor manera posible este valor, puede estar subrepresentado por lo que es interesante variarlo para estudiar el efecto en la estimación final.

Por último, en lo que respecta al riego, parece que el uso de agua está subestimado durante los meses de mayor temperatura, el riego representa el segundo mayor uso de agua, y el supuesto más importante en esta estimación es al momento de extrapolar los datos, se toma como referencia un día tipo, sin embargo, variaciones en el tiempo total de riego podrían alterar considerablemente el volumen total estimado, por lo que en el análisis de sensibilidad se analizará el efecto de la variación del tiempo total de riego y su efecto en el volumen final estimado.

En resumen, se analizará el efecto de modificar las variables de tiempo de residencia de la población flotante, flujo de los artefactos de flujo y la duración del tiempo de riego, los resultados de la variación del tiempo de residencia se presentan en la Tabla 14: “Análisis de sensibilidad – Tiempo de residencia población flotante” a continuación, para mayor detalle con respecto al cálculo revisar el Anexo F: Análisis de Sensibilidad.

*Tabla 14: Análisis de sensibilidad – Tiempo de residencia población flotante*

Tiempo de residencia de la población flotante	Estimación inicial	+1 hora de tiempo	-1 hora de tiempo
Volumen total estimado [m <sup>3</sup> ]	50278	52086	48470
Diferencia con el volumen total registrado (Registro – Estimación) [m <sup>3</sup> ]	10254	8446	12062

La tabla anterior se construyó de la siguiente manera, el primer valor corresponde al volumen total estimado sin alterar la variable del tiempo de residencia de la población flotante, el valor bajo a este corresponde a la diferencia de volumen entre la estimación y el registro de consumo de las boletas de agua, previo a cualquier variación, como se puede apreciar en la Tabla 13: “Error relativo boletas v/s estimación”, esta diferencia es de 10254 m<sup>3</sup>, equivalente a un error del 17%, al aumentar una hora el tiempo de residencia de la población flotante, o

el equivalente a una variación del 25% de esta variable, la diferencia disminuye a 8446 m<sup>3</sup>, equivalentes a tener un error del 14%, por último, el disminuir una hora el tiempo de residencia de la población flotante, o disminuir en un 25% esta variable, aumenta la diferencia a 12062 m<sup>3</sup>, lo que significa que el error de la estimación será del 20%.

El efecto de la variación del tiempo total de riego en la estimación del uso de agua para el 2022 en la FCFM se muestra en la Tabla 15: “Análisis de sensibilidad – Tiempo de riego” a continuación:

Tabla 15: Análisis de sensibilidad – Tiempo de riego

Tiempo total de riego	Estimación inicial	+10% tiempo de riego	-10% tiempo de riego
Volumen total estimado [m <sup>3</sup> ]	50278	52405	48230
Diferencia con el volumen total registrado (Registro – Estimación) [m <sup>3</sup> ]	10254	8127	12302

A partir de esta tabla se aprecia como al aumentar en un 10% el tiempo de riego la diferencia entre la estimación total del uso de agua y el registro de las boletas de agua disminuye a 8127, equivalentes a un 13% de error, mientras que el disminuir el tiempo de riego en un 10% aumenta el error de la estimación hasta un 20% con respecto al volumen registrado por las boletas de agua.

El efecto de la variación del flujo de los artefactos de flujo en la estimación del uso de agua para el 2022 en la FCFM se muestra en la Tabla 16: “Análisis de sensibilidad – Flujo de los artefactos de flujo” a continuación:

Tabla 16: Análisis de sensibilidad – Flujo de los artefactos de flujo

Flujo de los artefactos de flujo	Estimación inicial	+10% flujo de artefactos	-10% flujo de los artefactos
Volumen total estimado [m <sup>3</sup> ]	50278	53030	47526
Diferencia con el volumen total registrado (Registro – Estimación) [m <sup>3</sup> ]	10254	7502	13006

A partir de la tabla anterior se aprecia como al aumentar en un 10% el flujo de los artefactos, la diferencia entre la estimación y el volumen registrado disminuye de 10254 m<sup>3</sup> a 7502 m<sup>3</sup>, lo que equivale a disminuir el error de un 17% a 12%, por otro lado, al disminuir el flujo de estos el error aumenta a 21% alejando la estimación de lo registrado por las boletas.

A continuación, se presenta la Figura 12: “Diferencia de volumen total estimado para el 2022”, la cual se construye a partir de las tres tablas anteriores.

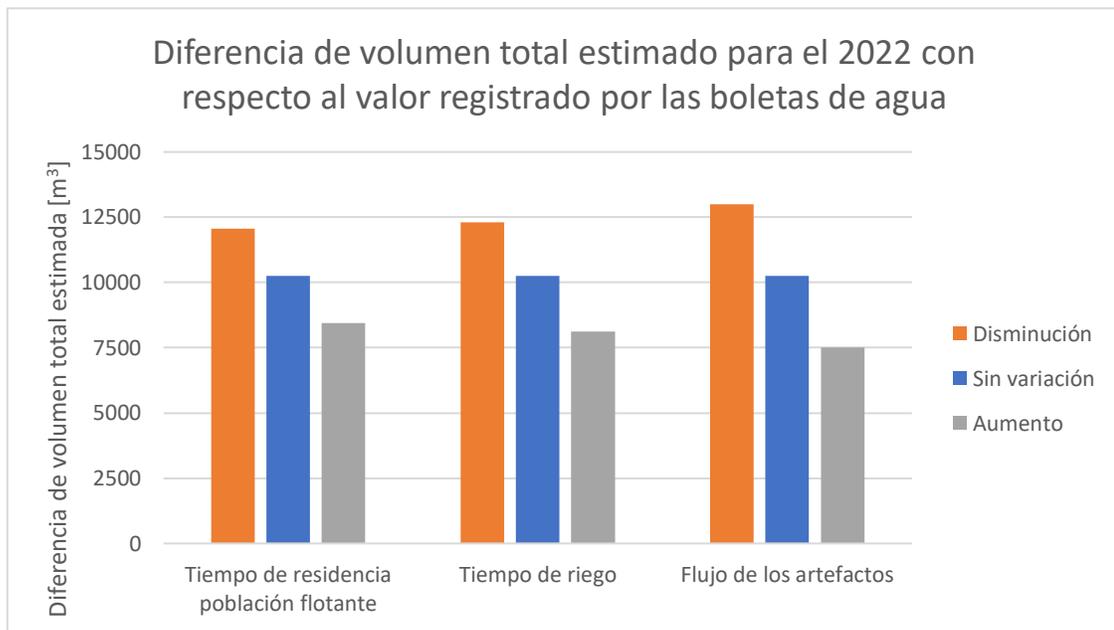


Figura 12: Diferencia de volumen total estimado

Esta figura busca representar gráficamente lo explicado en las Tabla 14, 15 y 16, mientras más cerca de cero resulte la diferencia de volumen más cercano a la realidad será la estimación. A partir de esta figura y las tablas anteriores se puede concluir que estas variables son sensibles a cambios y es importante definir las de la forma más exacta posible, por otro lado, se concluye que estas actualmente están subestimadas ya que al aumentar su valor la diferencia entre la estimación y el valor registrado disminuyen.

## 5.4 Conclusiones parciales

A partir de las estimaciones de demanda hídrica, se calcula que el consumo de agua para la FCFM durante el año 2022 fue de 50278 m<sup>3</sup>. Al compararlo con el consumo registrado por Aguas Andinas, se observa un error del 17%, es decir, hubo 10254 m<sup>3</sup> que no se consideraron dentro de la estimación.

Las razones de esta diferencia pueden estar relacionadas con algunos parámetros dentro de la estimación, como lo son la cantidad de veces que cada usuario utiliza efectivamente los artefactos sanitarios, el número de alumnos que se encuentran en la facultad a pesar de no tener clases, si bien estas variaciones no significan un error del 17% sí pueden afectar al volumen total por parte de los artefactos sanitarios. Otros errores en la medición que pueden afectar de forma importante a la estimación son todos los datos calculados de forma empírica, como lo son el flujo de los artefactos por edificio o bien el flujo de los equipos de riego.

Además, existen pérdidas que no se consideran en el estudio, como las fugas de los artefactos sanitarios. En este caso, solo se tomaron en cuenta las fugas registradas en el medidor 2, las cuales fueron identificadas y reparadas en el mes de marzo.

Al analizar los supuestos más importantes de la estimación, se observa lo sensibles que son los relacionados con el tiempo de permanencia de alumnos que están en la universidad a pesar de no tener clases. Este grupo de personas se estima a partir de la capacidad de los espacios comunes, como la biblioteca y la sala de estudio 'La Pajarera', entre otros y el tiempo de residencia se estimó a partir de una encuesta hecha en el foro de la facultad u-cursos.cl Sin embargo, el efecto de subestimar el tiempo de permanencia de los alumnos afecta directamente la estimación.

Otra variable sensible a perturbaciones es el tiempo de riego. Aunque la facultad cuenta con un sistema de riego automático instalado, la mayoría se encuentra en mal estado y gran parte de las áreas verdes se riega mediante mangueras manejadas por el equipo de paisajismo de la facultad. Un aumento del 10% en el tiempo de riego disminuye la diferencia del volumen total estimado en un 4%, demostrando la sensibilidad de esta variable y cómo pequeños cambios pueden afectar considerablemente el volumen total utilizado en el riego.

La última variable evaluada en el análisis de sensibilidad es el del flujo de agua de los artefactos de flujo, para determinar su valor se tomaron mediciones empíricas de artefactos representativos de cada edificio, lo cual tiene asociado un error humano y del momento en el que se tomaron las mediciones, por cambios de presión del momento o estado de los artefactos. El análisis muestra que una variación del 10% en su flujo significa un cambio del 5% en el volumen total del agua, demostrando lo sensible que es este parámetro dentro de la estimación.

Con estas comparaciones y análisis se cumple el segundo objetivo específico del trabajo, comparar el consumo con las estimaciones de demanda hídrica en la FCFM, en el próximo capítulo se realizará un ajuste a las estimaciones de manera de poder representar de mejor manera el uso de agua y que este sea igual al registrado por las boletas de agua.

# Capítulo 6

## Ajuste de la estimación

En este capítulo se utilizará la información de los capítulos anteriores para determinar el consumo de agua de cada actividad de manera que estos consumos coincidan con el volumen registrado en el capítulo 3. De esta manera, se pretende alcanzar el objetivo específico 3, que busca identificar las principales actividades que consumen agua en la facultad y cuánto volumen corresponde a cada una. Es importante recalcar la importancia de este ajuste, ya que serán las estimaciones ajustadas las cuales permiten extrapolar el comportamiento y evaluar las distintas medidas o cambios que se propongan para disminuir el uso de agua en la facultad.

### 6.1 Metodología de ajuste

Una vez se estiman los consumos de las distintas áreas, se realiza un ajuste con el registro de consumo mensual de cada medidor. Para ello, se calcula el aporte porcentual de cada actividad (artefactos sanitarios, riego, laboratorios, etc.) y se aplica este porcentaje al consumo total registrado cada mes. De esta manera, se mantiene constante el porcentaje de contribución y se ajusta el volumen de agua. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza la Ecuación 3: “Ajuste por actividad” para cada sector estimado, expresada de la siguiente manera:

$$V_{ajustado_i} = \left( \frac{V_{\acute{a}rea_i} * 100}{V_{estimado_i}} \right) * V_{real_i} \quad (3)$$

*Ecuación 3: Ajuste por actividad*

Donde:

- $V_{ajustado_i}$  : Corresponde al volumen ajustado de la actividad (artefactos sanitarios, riego, etc.) para el mes i (enero – diciembre).
- $V_{\acute{a}rea_i}$  : Corresponde al volumen estimado de la actividad para el mes i (enero – diciembre).
- $V_{estimado_i}$  : Corresponde al volumen estimado del mes para el mes i (enero – diciembre).
- $V_{real_i}$  : Corresponde al volumen registrado por las boletas de agua en el mes i (enero – diciembre).

Esta ecuación permite calcular el volumen ajustado de cada sector para cada mes, luego se suma para determinar la contribución de cada uno con respecto al total.

## 6.2 Resultados y Discusiones

A partir de la Ecuación 3: “Ajuste por actividad” se determina el volumen ajustado para cada actividad, estos resultados se presentan en la Tabla 17: “Volumen de agua ajustado” a continuación:

Tabla 17: Volumen de agua ajustado

Actividad	Volumen ajustado [m <sup>3</sup> ]	Aporte [%]
Artefactos Sanitarios	36283	60%
Riego	10488	17%
Laboratorios	1859	3%
Piscina	375	1%
Pérdidas	11527	19%
<b>Total</b>	<b>60532</b>	<b>100%</b>

A diferencia de los resultados anteriores esta vez el volumen total corresponde al volumen registrado por las boletas de agua, los artefactos sanitarios corresponden a la actividad con mayor contribución con un 60 % seguido por el riego con un 17% y las pérdidas con un 19%, juntas contemplan el 96% del uso de agua en la facultad. Para poder comparar de mejor manera con los resultados anteriores se construye la Tabla 18: “Comparación volumen estimado y ajustado” presentada a continuación:

Tabla 18: Comparación volumen estimado y ajustado

Actividad	Estimado		Ajustado	
	Volumen [m <sup>3</sup> /año]	Aporte [%]	Volumen [m <sup>3</sup> /año]	Aporte [%]
Artefactos Sanitarios	33715	67%	36283	60%
Riego	7318	15%	10488	17%
Laboratorios	1591	3%	1859	3%
Piscina	596	1%	375	1%
Pérdidas	6979	14%	11527	19%
<b>Total</b>	<b>50023</b>	<b>100%</b>	<b>60532</b>	<b>100%</b>

A partir de la Tabla 18: “Comparación volumen estimado y ajustado” se aprecia como al ser ajustados los volúmenes estos aumentan, con excepción de la piscina, la cual disminuye. Esto se debe a que para el mes de agosto, en el que la piscina vuelve a funcionar, la estimación del consumo de agua se sobreestimó, por lo que al ajustarse el volumen

correspondiente a la piscina ese mes disminuye y en consecuencia, su volumen total del año. Si bien esto significa un error en su cálculo, la piscina es la actividad que menor impacto tiene en el uso total del agua, mientras que el aumento de volumen en las otras actividades acerca las estimaciones a la realidad más de lo que el error en la piscina lo aleja.

Para analizar el aporte mensual de cada actividad se construye la Figura 13: “Volumen mensual ajustado para el 2022 en la FCFM” presente a continuación:

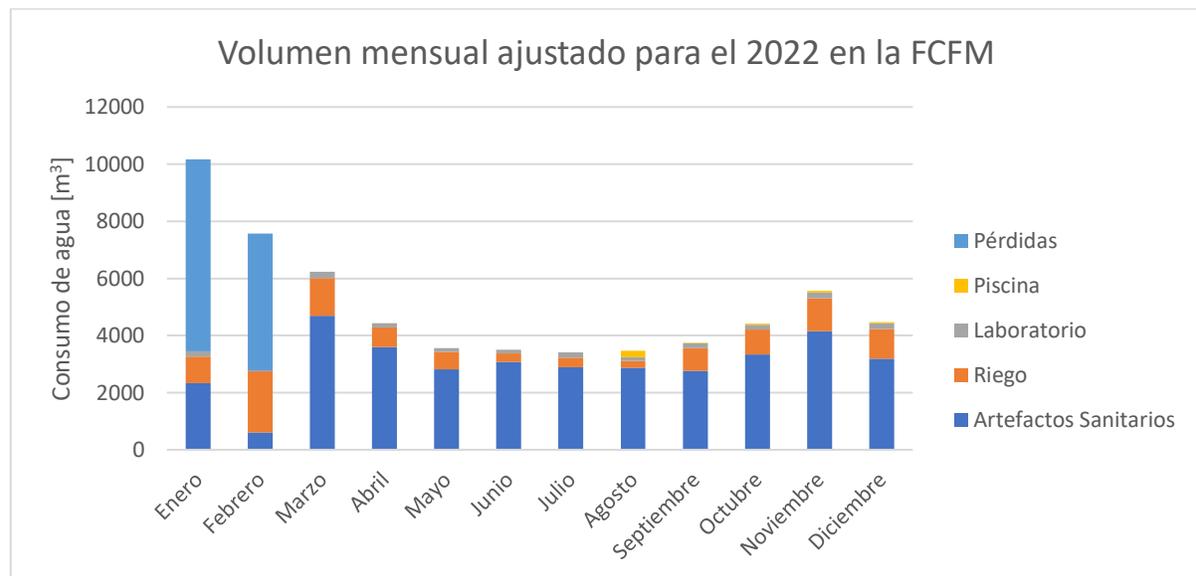


Figura 13: Volumen mensual ajustado para el 2022 en la FCFM

Esta figura caracteriza el uso de agua en la facultad mes a mes, mostrando en qué se utiliza el agua, esta figura concuerda con el consumo real registrado y tiene el mismo comportamiento que la Figura 3: “Consumo de agua registrado por boletas en la FCFM 2022”, esto ocurre debido a la metodología de ajuste y es lo que se espera conseguir con la Ecuación 3: “Ajuste por actividad”.

### 6.3 Conclusiones parciales

Para poder determinar de mejor manera el uso del agua de cada actividad mes a mes se llevó a cabo un ajuste mensual de las estimaciones, de esta manera se espera representar de mejor manera cada actividad y su aporte anual en el consumo hídrico. A partir de este ajuste se podrá evaluar el efecto de variaciones en variables, comportamientos u otras medidas que se propongan para disminuir el uso de agua en la facultad.

A partir de este ajuste se identifican las actividades de mayor consumo de agua, estas corresponden a los artefactos sanitarios, el riego y pérdidas con un 60%, 17% y 19% respectivamente.

Con respecto a los artefactos sanitarios, su uso se concentra durante los meses del año académico, la asistencia a los distintos edificios y las variables de flujo de sus artefactos permiten identificar los edificios con mayor impacto y priorizar así las medidas para disminuir el uso de agua. Por otro lado, la metodología de estimación del riego permite determinar el volumen diario utilizado a partir del tiempo de riego y el tipo de artefacto, con esta información se pueden buscar medidas que disminuyan el tiempo de riego o bien cambien el tipo de riego por uno más eficiente que el uso de manguera directamente, asimismo, el tipo de flora en las áreas verdes puede ser cambiada por una de menor demanda. Estas propuestas se estudiarán de mejor manera en el siguiente capítulo.

De esta manera se cumple el tercer objetivo específico el cual busca identificar las principales actividades de uso de agua en la FCFM.

# Capítulo 7

## Propuestas de mejoras para el sistema hídrico de la FCFM

En este capítulo se indagará en las oportunidades de mejora identificadas, a partir de buenas prácticas por aplicar, mejoras técnicas disponibles y los beneficios de las distintas opciones. El objetivo del capítulo es recopilar la información necesaria para proponer medidas que disminuyan eficazmente el uso de agua en la facultad.

### 7.1 Buenas prácticas

Las buenas prácticas se definen como el conjunto de acciones o métodos probados y validados mediante la experiencia de usuarios con el propósito de mejorar la gestión hídrica del campus. A continuación, se presenta una lista de buenas prácticas identificadas, las cuales se agrupan en función de las principales actividades que consumen agua en la facultad. Estas dependen directamente de los usuarios y su impacto se verá reflejado sólo si estos las siguen.

**Considerando que el 60% del uso de agua corresponde a baños:**

- Uso de pulsadores

Preferir el uso de grifería con pulsadores de manera de asegurar el cierre de los grifos, evitando así pérdidas de agua. Esto viene acompañado de un buen uso del artefacto, ya que al mantener presionado el pulsador este se avería y luego el tiempo de apertura es mayor al necesario

- Programa de concientización

Se aboga por la concientización y buen uso de los artefactos sanitarios. Esto incluye recordar cerrar grifos monomando, utilizar adecuadamente el pulsador y disponer de una llave cisne en cada baño para rellenar botellas de agua, evitando pérdidas por mal uso de otros grifos, el uso de inodoros con descarga diferenciada y un tiempo prudente de uso de las duchas. Difusión de los cambios hechos en cada edificio para mantener a los usuarios informados de las actividades enfocadas en la gestión hídrica.

**Considerando que el 17% del uso de agua corresponde a riego:**

- Regar a horas de bajo calor

Se sugiere evitar el riego entre las 12:00 y las 16:00 horas para permitir que las plantas absorban el agua y soportan mejor el calor del día, minimizando los daños por cambios térmicos

- Reutilización agua tratada

Se propone utilizar agua de la planta de tratamiento de aguas grises para regar las áreas verdes de la facultad, reduciendo así el uso de agua y aprovechando recursos que de otra manera se perderían. Para esto, es necesario reacondicionar la planta de tratamiento que ya existe en la facultad.

**Considerando que el 19% del uso de aguas está asociado a pérdidas:**

- Calendario de mantenimiento preventivo

Se sugiere la elaboración de un calendario de mantenimiento preventivo para evitar pérdidas debidas a artefactos en mal estado. Se propone estudiar los artefactos más susceptibles a fallos para priorizar su mantenimiento.

- Estrategia de alarma temprana

Estudiar el consumo mes a mes de manera de identificar de forma temprana algún consumo fuera de lo esperado, que pueda sugerir la existencia de una fuga en algún medidor.

## 7.2 Mejoras técnicas disponibles

Las mejoras técnicas disponibles se definen como tecnología existente que permitiría una mejor gestión hídrica dentro de la facultad, dentro de las actividades del APL se creó un documento con mejoras técnicas disponibles, a continuación, se muestran las mejoras identificadas:

- MTD 1: Equipos de bajo consumo

Se refiere a artefactos sanitarios que presentan un menor consumo durante su funcionamiento. Dado que el 50% del consumo de agua en la facultad corresponde a estos artefactos, la reducción de su consumo es de gran importancia.

- MTD 2: Riego de eficiente

La implementación de sistemas de riego automático o por goteo permiten regar de manera eficiente y controlada las diferentes áreas verdes dentro de la facultad. Su uso podría llevar a una disminución del 50% en el consumo de agua en este sector.

- MTD 3: Medidores de caudal

Un caudalímetro, instrumento utilizado para medir el caudal de un fluido, facilita el monitoreo de los diferentes medidores y permite registrar en línea el consumo de agua. Además, puede utilizarse para supervisar el uso del agua por edificio.

- MTD 4: Recolección y reutilización de aguas lluvias

La recolección de aguas lluvias con el propósito de utilizarlas en actividades como el lavado o riego dentro de la facultad es una opción que optimiza el aprovechamiento del recurso. Aunque el último año registró lluvias superiores a las esperadas, se pronostica una disminución en los próximos años.

- MTD 5: Cubiertas de protección para sistemas de alcantarilla y desagües

Se refiere a protección de las zonas donde se vierten corrientes líquidas de baja contaminación al alcantarillado utilizando una rejilla o techumbre. Por lo general, existen tres tipos: cubiertas sólidas, malla de cubierta y filtros de canal. Se pueden emplear también tapas reutilizables para cerrar momentáneamente los desagües en caso de un vertido, evitando así que sustancias contaminantes se filtren en el sistema de alcantarillado.

- MTD 6: Recolección selectiva

Esta práctica consiste en recolectar de forma selectiva las aguas provenientes de distintas actividades. Un ejemplo de su implementación es la Planta de Tratamiento de Aguas Grises (PTAG), que recoge el agua de las duchas en los camarines de Beauchef 851 para su tratamiento y posterior uso en el riego.

- MTD 7: Xeripaisajismo

El xeripaisajismo se define como la modalidad de diseñar jardines y exteriores de manera sostenible, basándose en tres elementos clave: plantas de bajo consumo, riego eficiente y una arquitectura paisajística adecuada. La idea es seleccionar plantas que se adapten al clima en el que serán plantadas para garantizar su mejor adaptación

## 7.3 Evaluación multicriterio de las MTD

En esta sección se llevará a cabo una evaluación multicriterio de las distintas MTD (Mejores Técnicas Disponibles). En esta evaluación, se comparan las MTD con tres criterios de decisión en una escala del 1 al 5. Aquellas que sumen 9 o más puntos serán sometidas a una evaluación técnico-económica.

### 7.3.1 Criterios de decisión

Existen múltiples criterios para evaluar las medidas de reducción de agua; sin embargo, la selección de estos criterios debe estar alineada con la visión del trabajo, que en este caso se enfoca en proporcionar herramientas para mejorar el sistema de gestión hídrica de la facultad. A continuación, se presentan los criterios de evaluación, los cuales no incluyen el ámbito económico. Las medidas que cumplan con los requisitos de puntaje serán evaluadas económicamente en etapas posteriores, por lo que el criterio económico no se considera en la decisión inicial. Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Relación con los puntos críticos de consumo: Este criterio es relevante porque prioriza las medidas que afectan directamente las actividades de mayor consumo en la facultad, permitiendo así un impacto significativo en la reducción del consumo.
- Proyección de impacto en el tiempo: Este criterio es relevante porque da prioridad a las medidas que tienen una relevancia sostenida en el tiempo. Las medidas que solo sirvan para un momento específico y luego pierdan efectividad en la reducción del consumo de agua tendrán menor valor.
- Facilidad de implementación: Este criterio es relevante porque se busca asegurar que las medidas propuestas puedan ser puestas en práctica sin requerir grandes cambios estructurales ni la adquisición de recursos adicionales significativos. Esto permite una rápida adopción y ejecución de las medidas, facilitando así una pronta mejora en la gestión hídrica.

Otros criterios que también podrían considerarse relevantes incluyen la compatibilidad con las infraestructuras existentes, el impacto ambiental adicional o la capacidad de fomentar una mayor conciencia sobre el uso del agua entre la comunidad educativa. Sin embargo, en este trabajo se ha optado por utilizar los tres criterios mencionados para enfocarse en propuestas que sean significativas, sostenibles en el tiempo y aplicables específicamente en

el contexto de la facultad. Este enfoque permite desarrollar soluciones concretas y prácticas que puedan implementarse de manera eficiente y efectiva.

### 7.3.2 Valoración

Una vez se definen los criterios es necesario explicar cómo se realiza el juicio de las medidas con la MTD, para esto se diseña una escala del 1 al 5, en la que el 5 corresponde a una mejora que está en la misma línea con el criterio, el 3 corresponde a una mejora que en parte está en la misma línea que el criterio y el 1 corresponde a una que no sigue el criterio. Esto significa algo distinto para cada criterio, tanto cualitativa como cuantitativamente, por lo que la Tabla 19: “Escala de valoración análisis multicriterio” a continuación, explica la escala con la que se evaluarán las distintas MTD.

Tabla 19: Escala de valoración análisis multicriterio

Intensidad del juicio	Explicación del juicio		
	Relación con los puntos críticos de consumo	Proyección de impacto en el tiempo	Facilidad de implementación
1	La medida se relaciona con una actividad que abarca menos del 10% del consumo de la facultad.	No tiene impacto en el tiempo.	Se deben realizar grandes cambios y en el tiempo.
3	La medida se relaciona con una actividad que abarca entre el 20% y el 50% del consumo de la facultad.	El efecto de su implementación se percibirá en el momento, pero en el tiempo serán menores.	Se puede implementar realizando grandes cambios.
5	La medida se relaciona con una actividad que abarca el 50% o más del consumo de la facultad.	Los impactos se percibirán en el momento de la aplicación y en el tiempo.	Se puede implementar sin realizar grandes cambios.
2,4	Valores intermedios de los juicios anteriores.		

### 7.3.3 Evaluación y síntesis

A continuación, se presenta el resultado de la evaluación de las distintas MTD bajo los criterios explicados: relación con los principales consumidores, proyección de impacto en el tiempo y facilidad de implementación. Aquellos que Cada uno se evaluará con valores del 1 al 5 en cada criterio y aquellas que sumen 9 o más serán evaluadas técnico-económicamente, ya que serán aquellas que cumplan con una valoración de al menos la

mitad de los puntos posibles. La Tabla 20: “Decisión aplicabilidad MTD” a continuación, muestra los resultados de la evaluación en cada criterio

Tabla 20: Decisión aplicabilidad MTD

MTD	Relación con puntos críticos de consumo	Proyección de impacto en el tiempo	Facilidad de implementación	Total
MTD 1: Equipos de bajo consumo	5	5	1	11
MTD 2: Riego de eficiente	2	5	3	10
MTD 3: Medidores de caudal	3	3	3	9
MTD 4: Recolección y reutilización de aguas lluvias	2	2	1	5
MTD 5: Cubiertas de protección para sistemas de alcantarilla y desagües	1	1	5	7
MTD 6: Recolección selectiva	2	5	3	10
MTD 7: Xeripaisajismo	2	5	2	9

Si bien la puntuación sigue la escala de valoración de la Tabla 19, algunas de las valoraciones están sujetas a interpretaciones por lo que se presenta una explicación de los resultados de cada MTD a continuación:

- MTD 1: Equipos de bajo consumo

En cuanto a esta medida, la sustitución de artefactos sanitarios implica un cambio significativo en el consumo de agua, especialmente en una actividad que representa el 60% del uso total en la facultad. Por esta razón, esta medida obtiene 5 puntos en el criterio de impacto. Se espera que los efectos de la implementación sean evidentes a largo plazo, ya que, una vez instalados los nuevos artefactos, el consumo disminuirá mientras se mantengan los equipos en buen estado, lo que justifica los 5 puntos asignados a la proyección de impacto en el tiempo. Sin embargo, en términos de facilidad de implementación, este proyecto requiere la intervención en todos los artefactos de todos los edificios, lo que le asigna solo 1 punto en este criterio. Considerando todos los factores mencionados, el total

obtenido es de 11 puntos. Por lo tanto, esta medida será evaluada técnica y económicamente en el capítulo siguiente.

- MTD 2: Riego de eficiente

La instalación de un sistema de riego eficiente impacta directamente en el consumo de agua destinado al riego, una actividad que representa el 17% del uso total de agua en la facultad. Por esta razón, esta medida se evalúa con 2 puntos en relación a los puntos críticos de consumo. En cuanto a la proyección del impacto en el tiempo, se le otorgan 5 puntos, ya que, una vez implementado, se espera que el consumo de agua para riego disminuya de manera sostenida. Respecto a la facilidad de implementación, se requiere la instalación de nuevos sistemas de riego, lo cual implica intervenir una parte considerable del patio. Debido a la magnitud de esta intervención, se le asignan 3 puntos, dado que, aunque el proceso será extenso, es factible completarlo en un año. Considerando todos estos factores, la medida obtiene un total de 10 puntos, por lo que será evaluada técnica y económicamente en el capítulo siguiente.

- MTD 3: Medidores de caudal

Esta medida se enfoca en abordar las pérdidas de agua en la facultad. El sistema propuesto permitirá detectar fugas de manera rápida, lo que resulta en una asignación de 3 puntos, dado que las pérdidas representan el 19% del consumo total de agua. En cuanto a la proyección a largo plazo, se estima que la implementación reducirá las pérdidas por fugas, aunque una vez que estas estén controladas, no se anticipan reducciones adicionales significativas; por esta razón, se otorgan 3 puntos en este criterio. Respecto a la facilidad de implementación, será necesario intervenir los medidores, y dependiendo de la marca del medidor, esto podría requerir una intervención considerable o solo una adaptación menor. Por lo tanto, se le asignan 3 puntos, ya que, aunque la implementación es factible, requerirá ciertos cambios o adaptaciones en la infraestructura. Considerando todos estos aspectos, el puntaje total obtenido es de 9 puntos, lo que justifica que esta medida sea evaluada técnica y económicamente en el siguiente capítulo.

- MTD 4: Recolección y reutilización de aguas lluvias

Esta medida impacta directamente el consumo de agua destinado al riego, por lo que se le asignan 2 puntos en relación con los puntos críticos. En cuanto a la proyección a largo plazo, aunque los años 2023 y 2024 han registrado un aumento en las precipitaciones, estos eventos se han catalogado como meteorológicos extraordinarios. Se pronostica que para el año 2050 las precipitaciones en la zona central de Chile disminuirán en un 40% en la zona central<sup>16</sup>, esto sin considerar el aumento en las precipitaciones de los últimos dos años. Por lo tanto, esta medida recibe 2 puntos en su proyección de impacto en el tiempo, ya que, aunque a corto plazo podría ser beneficiosa, se anticipa una disminución significativa en las

precipitaciones. Respecto a la facilidad de implementación, la medida obtiene 1 punto, ya que su ejecución requiere la instalación de infraestructura significativa y adaptaciones en espacios ya ocupados por techos en la facultad, lo que implica un procedimiento complejo. Considerando todos estos factores, el puntaje total de esta medida es de 5 puntos, por lo que no será evaluada en los capítulos siguientes.

- MTD 5: Cubiertas de protección para sistemas de alcantarilla y desagües

Las cubiertas de protección no afectan directamente ninguna de las principales actividades dentro de la facultad. Su implementación reduciría la carga de contaminantes en el agua que se dirige a las alcantarillas o desagües. Sin embargo, la facultad no es responsable del tratamiento de esta agua, ya que dicha tarea corresponde a la empresa Aguas Andinas. Por lo tanto, en lo que respecta a su relación con los puntos críticos y su proyección de impacto en el tiempo, esta medida recibe 1 punto en cada criterio. En cuanto a la facilidad de implementación, obtiene 5 puntos, dado que las cubiertas se instalan sobre los sistemas de desagüe sin necesidad de una intervención significativa. Considerando todos estos factores, la medida alcanza un total de 7 puntos, por lo que no será evaluada en el capítulo siguiente.

- MTD 6: Recolección selectiva

La recolección selectiva impacta en el uso de agua para riego, lo que le otorga 2 puntos en relación con los puntos críticos de consumo. En cuanto a su proyección a largo plazo, recibe 5 puntos, ya que su implementación resultaría en una reducción permanente del consumo de agua. Al evaluar la facilidad de implementación, la medida obtiene 3 puntos. Aunque la facultad cuenta con una planta de tratamiento de aguas grises ya instalada, esta requiere ser reacondicionada para poder ser puesta en funcionamiento nuevamente. Considerando todos estos factores, la medida alcanza un total de 10 puntos, por lo que será evaluada técnica y económicamente en el siguiente capítulo.

- MTD 7: Xeripaisajismo

El xeripaisajismo impacta directamente en el consumo de agua para riego, por lo que se le otorgan 2 puntos en el criterio de relevancia con los puntos críticos de consumo. Su impacto será permanente una vez implementado, ya que el uso de agua disminuirá mientras este tipo de paisajismo esté instalado, lo que le otorga 5 puntos en el criterio de relevancia a largo plazo. En cuanto a la facilidad de implementación, la medida obtiene 2 puntos, ya que su aplicación requerirá un periodo prolongado de tiempo debido a la necesidad de intervenir las áreas verdes de la facultad. Aunque esta intervención no implicará el cierre de edificios, sigue siendo una operación de envergadura. Considerando todos estos aspectos, la medida obtiene un total de 9 puntos, por lo que se evaluará técnica y económicamente en el siguiente capítulo.

A partir de estos resultados, las MTD seleccionadas son:

- Equipos de bajo consumo
- Riego eficiente
- Medidores de caudal
- Recolección selectiva del agua
- Xeripaisajismo

Estas mejoras serán sometidas a un análisis técnico-económico. A partir de dicho análisis, se recomendará su implementación en un marco temporal de corto, mediano o largo plazo. Los resultados de este análisis se presentan en el siguiente capítulo.

## 7.4 Identificación de oportunidades de mejora

A partir de los antecedentes presentados en este capítulo se han identificado diversas oportunidades de mejora, las cuales se detallan a continuación:

### Recambio de artefactos

El recambio de artefactos por unos de bajo consumo significa una disminución en la actividad de mayor consumo en la facultad, los artefactos sanitarios. Según lo investigado en el mercado existen equipos que disminuirían el consumo relacionado a inodoros, urinarios y griferías, esta información se encuentra en el Anexo G: “Nuevos Estándares”. Si bien hay edificios que cuentan con artefactos de bajo consumo instalados o bien con un estándar cercanos a este, aún hay edificios en los cuales no se han hecho estos cambios.

### Sistema de riego eficiente

Si bien la facultad cuenta con un sistema de riego automático instalado, gran parte de este se encuentra inoperativo, en su lugar se riega con manguera, lo que significa en un uso del agua ineficiente. La instalación de un sistema de riego eficiente como lo es el riego por goteo o bien el riego automático es una forma de disminuir el uso de agua por área verde.

### PTAG

La facultad cuenta con una Planta de tratamiento de aguas grises (en adelante PTAG), sin embargo, por problemas técnicos esta no se encuentra operativa, el agua tratada en esta planta proviene de las duchas instaladas en los camarines de Beauchef 851 y tiene el potencial de ser utilizada para el riego de las áreas verde de la facultad, lo que reduciría de manera considerable el uso de agua en este sector.

### Xeripaisajismo

En la misma línea de jardinería, el xeripaisajismo se presenta como una alternativa para disminuir el uso de agua en riego, se busca adaptar las áreas verdes para que plantas de menor consumo hídrico tomen su lugar, deben ser plantas acordes con el clima de Santiago de manera que se adapten bien a las condiciones en la facultad sin necesidad de tener un riego exigido.

### Monitoreo de caudal

La instalación de caudalímetros en cada medidor permite monitorear de manera instantánea el consumo de cada medidor, con esto se podría implementar un sistema de alarma temprana ante la aparición de una fuga, ante el aumento inesperado del uso de agua en cada medidor. Por otro lado, la instalación de un caudalímetro en cada edificio le permitiría a la facultad tener un mejor registro del uso de agua en cada sector, ayudando en la identificación de una fuga o bien para una mejor gestión del agua. Si bien una medida como esta no disminuye directamente el uso de agua es una herramienta para una mejor gestión.

### Mantenimiento preventivo

Incorporar un calendario de mantenimiento preventivo a los artefactos sanitarios, sistemas de riego y cualquier dispositivo que utilice agua es fundamental para cambiar la estrategia de mantenimiento actual en la facultad. Hoy en día se tiene una estrategia reactiva, lo que dificulta mantener de buena manera los dispositivos, migrar a una estrategia de mantenimiento preventivo ayudaría a disminuir las pérdidas por mal estado de la grifería o artefactos que utilicen agua, así, mantener todos los dispositivos en un estado óptimo. Al igual que la medida anterior, esta no disminuye directamente el uso de agua, sino que presenta herramientas para una mejor gestión hídrica.

## Capítulo 8

# Evaluación de mejoras para el sistema hídrico de la FCFM

En este capítulo se analizará el potencial de reducción, costo asociado y el tiempo de recuperación de la inversión, las distintas oportunidades de mejora se clasifican en tres ejes de trabajo: Mejoras con respecto a las pérdidas, con respecto a los artefactos sanitarios y con respecto a jardinería.

El primero de estos ejes evaluará medidas para reducir las pérdidas, del capítulo anterior se seleccionaron las acciones de: Instalación de medidores de caudal e implementación de un sistema de mantenimiento preventivo. Con respecto al eje de mejoras a los artefactos sanitarios, evaluará el recambio de los artefactos por unos de menor consumo. Por último, el eje de mejoras en jardinería evaluará: Sistemas de riego eficiente, implementación de xeripaisajismo y el re-adecuamiento de la PTAG para utilizar esta agua en el riego.

Para calcular la tasa de retorno de cada inversión se considerará el volumen de agua ahorrada al año y se calculará el monto en pesos ahorrado que esto significa, a partir de la Tabla 21: “Costo m<sup>3</sup> de agua en el 2023”.

Tabla 21: Costo m<sup>3</sup> de agua en el 2023

Descripción	Valor (CLP) a partir del 10/02/2023
m <sup>3</sup> de agua potable	\$523
m <sup>3</sup> de tratamiento	\$260
m <sup>3</sup> de recolección	\$404
Total	\$1.187

## 8.1 Mejoras con respecto a pérdidas

Durante el año 2022 y 2023 la facultad tuvo dos eventos importantes de pérdidas por fugas en distintas cañerías, la siguiente Tabla 22: “Estimación de pérdidas” a continuación, muestra el volumen de agua asociado a pérdidas que se percibió al comparar los consumos registrados por las boletas de agua para los años 2022 y 2023.

Tabla 22: Estimación de pérdidas

Medidor	2022	2023
Medidor 2	6979	-
Medidor 4	-	15263
Medidor 5	-	3140
<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>	<b>6979</b>	<b>18403</b>

La tabla anterior muestra las pérdidas que se detectaron al analizar las boletas de agua y detectar consumos anómalos en cada medidor, no muestran otras posibles pérdidas relacionadas a artefactos en mal estado o por mal uso del agua, sino que reflejan pérdidas asociadas a roturas en cañerías o problemas similares. Los valores presentes en la Tabla 18 muestran la importancia de tener un sistema de alarma temprana o un sistema de seguimiento de caudal que permita a la facultad reaccionar de forma rápida y no después de recibir la boleta de agua del mes anterior. A continuación, se detallan medidas para reducir pérdidas en el sistema de agua de la facultad:

- Medidores de caudal

Los medidores de caudal son módulos de radiofrecuencia que son adicionados a un medidor y permiten tener un seguimiento del flujo de un medidor en tiempo real, además cuentan con un sistema para alertar de posibles fugas en tiempo real y de esta manera evitar que la fuga perdure en el tiempo, a continuación, se muestra una cotización para los medidores más importantes de la facultad, medidor 2, medidor 4 y medidor 9. Los valores de medidor + módulo, infraestructura de datos + servicio y servicios recurrentes futuros se muestran en la siguiente Tabla 23: “Cotización Módulos RF”

Tabla 23: Cotización Módulos RF

Medidor + Módulo RF			
Descripción	Cantidad	Precio (UF)	Total (UF)
DN 25 + Módulo RF montado y configurado	1	7,12	7,12
DN 40 + Módulo RF montado y configurado	1	14,97	14,97
DN 50 + Módulo RF montado y configurado	1	18,04	18,04
<b>Total (UF)</b>			<b>40,13</b>
Infraestructura de recolección de datos + servicios			
Descripción	Cantidad	Precio (UF)	Total (UF)
Bluetooth RFmaster + USB cable + protector + antena	1	68,98	68,98
SetUp y configuración de Red en terreno + entrenamiento administrador/lector	1	121,16	121,16
<b>Total (UF)</b>			<b>190,14</b>
Servicios recurrentes futuros – Servicio de datos en nube			
Descripción	Cantidad	Precio (UF)	Total (UF)
Servicio de datos en Nube para lectura Radio Frecuencia - precio punto/anual	3	5,77	17,31
<b>Total (UF)</b>			<b>17,31</b>

Considerando un valor de UF de \$37.064,90 CLP (para el 28/03/2024) el costo total de cada sección se describe en la siguiente Tabla 24: “Valores instalación módulo RF” a continuación.

Tabla 24: “Valores instalación módulo RF”

Servicio	Valor UF	Valor CLP
Medidor + Módulo RF	40,13	\$1.487.414
Infraestructura de recolección de datos + servicios	190,14	\$7.047.520
Servicios recurrentes futuros – Servicio de datos en nube	17,31	\$641.593
<b>Total</b>	<b>247,58</b>	<b>\$9.176.528</b>

El costo total de la instalación de estos 3 medidores de caudal será de \$9.176.528 , con esta inversión se podrá reaccionar de forma temprana ante una posible fuga en uno de estos medidores, es importante destacar que el servicio de guardado de datos en nube es un costo al cual la universidad se suscribiría, lo que significa que todos los años que se quiera mantener este servicio debe pagarse, por otro lado, el servicio de instalación de la

infraestructura y entrenamiento de uso de los dispositivos es un costo que debe pagarse una vez y no cada vez que se requiera la instalación de un nuevo medidor o módulo.

Esta acción si bien no hará que las pérdidas sean cero otorgará a la facultad herramientas para tener una mejor gestión y reaccionar antes cualquier fuga.

- Mantenimiento preventivo

Actualmente la facultad cuenta con un sistema de mantenimiento reactivo ante cualquier fuga, esto significa que ante el mal funcionamiento o avería de un artefacto que utilice agua, la fuga se mantendrá hasta que se organice una acción desde el equipo de mantenimiento, esto hace que sea muy difícil mantener los artefactos en buen estado. Se propone entonces, un sistema de mantenimiento preventivo. Este deberá contar con un calendario de mantenimiento preventivo a todos los artefactos, repuestos para las piezas que fallan más comúnmente en inventario, de manera de poder reparar de forma rápida y un equipo que analice la causa raíz de cada falla, de manera de poder idear acciones que prevengan que estas fallas vuelvan a ocurrir.

Para poder implementar un sistema así se deberá estandarizar los artefactos que utilicen agua, organizar un equipo de mantenimiento que pueda destinar horas a organizar y formalizar el calendario de mantenimiento y tenga un registro de todos los distintos artefactos que utilicen agua y puedan tener alguna fuga y el estado de estos.

Esta es una medida que no puede implementarse en el periodo de un año y debe ir acompañada de otras acciones, pero para poder apuntar a tener cero pérdidas se debe cambiar el sistema de mantenimiento de reactivo a preventivo.

## 8.2 Recambio de artefactos sanitarios:

Con la información de la Tabla 21: “Costo m<sup>3</sup> de agua en el 2023” se realizará un análisis técnico-económico de las distintas acciones posibles para luego generar una propuesta con horizontes de acción a corto, mediano y largo plazo.

A partir de la revisión de los nuevos artefactos disponibles en el mercado se encuentra un nuevo estándar con tecnologías que buscan reducir el uso de agua. En la Tabla 25: “Nuevos estándares de artefactos” se presentan 2 estándares nuevos, el escenario 1 el cual tiene los artefactos con menor consumo en el mercado y el escenario 2 con otras opciones de bajo consumo, para más información con respecto a los costos de los nuevos estándares y otra información revisar el Anexo G “Nuevos Estándares”. En esta tabla se muestra el consumo mensual de cada edificio y su nuevo consumo esperado.

Tabla 25: Nuevos estándares de artefactos

Edificio	Artefactos	Línea Base		Escenario Estándar 1		Escenario Estándar 2		Ahorro mensual en el escenario 1 [m <sup>3</sup> ]
		Flujo LB Artefacto [litros/descarga] [litros/segundo]	Consumo mensual Línea Base [m <sup>3</sup> ]	Flujo de artefactos con el estandar del escenario 1	Consumo mensual esperado [m <sup>3</sup> ]	Flujo de artefactos con el estandar del escenario 2	Consumo mensual esperado [m <sup>3</sup> ]	
Torre Justicia Espada	Inodoro	6,00	61,5	2,90	29,7	4,80	51,2	36,2
	Urinario	-	-	-	-	-	-	
	Lavamanos	0,08	24,9	0,07	20,5	0,13	41,6	
	<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>	<b>86,4</b>		<b>50,3</b>		<b>92,8</b>		
Ed. Escuela	Inodoro	6,00	173,0	2,90	83,6	4,80	138,4	283,4
	Urinario	4,00	68,7	0,40	6,9	1,90	32,6	
	Lavamanos	0,16	224,7	0,07	92,5	0,13	172,5	
	<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>	<b>466,4</b>		<b>182,9</b>		<b>343,5</b>		
Ed. Eléctrica	Inodoro	6,00	84,4	2,90	40,8	4,80	67,5	49,5
	Urinario	-	-	-	-	-	-	
	Lavamanos	0,08	35,4	0,07	29,5	0,13	54,9	
	<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>	<b>119,8</b>		<b>70,4</b>		<b>122,4</b>		
Ed. Geología	Inodoro	6,00	99,0	2,90	47,8	4,80	79,2	183,0
	Urinario	4,00	50,0	0,40	5,0	1,90	23,8	
	Lavamanos	0,17	145,4	0,07	58,5	0,13	108,7	
	<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>	<b>294,4</b>		<b>111,4</b>		<b>211,7</b>		
	Inodoro	6,00	57,9	2,90	28,0	4,80	46,3	70,7

Ed. Química	Urinario	4,00	28,1	0,40	2,8	1,90	13,4	
	Lavamanos	0,10	50,5	0,07	35,0	0,13	62,5	
	<b>Total [m³]</b>	136,5		65,8		122,2		
Ed. Física	Inodoro	6,00	57,1	2,90	27,6	4,80	45,7	85,2
	Urinario	4,00	28,0	0,40	2,8	1,90	13,3	
	Lavamanos	0,13	63,9	0,07	33,4	0,13	62,0	
	<b>Total [m³]</b>	149,0		63,8		121,0		
Ed. Civil Geofísica	Inodoro	6,00	40,3	2,90	19,5	4,80	32,3	42,8
	Urinario	4,00	13,6	0,40	1,4	1,90	6,5	
	Lavamanos	0,10	30,2	0,07	20,4	0,13	37,9	
	<b>Total [m³]</b>	84,1		41,3		76,7		
Beaucheff 851	Inodoro	6,00	241,5	2,90	116,7	4,80	193,2	215,7
	Urinario	4,00	101,0	0,40	10,1	1,90	48,0	
	Lavamanos	0,07	311,2	0,07	311,2	0,13	577,9	
	<b>Total [m³]</b>	653,7		438,0		819,1		
Bueacheff 851 Norte	Inodoro	6,00	124,6	2,90	60,2	4,80	99,7	217,9
	Urinario	4,00	60,7	0,40	6,1	1,90	28,8	
	Lavamanos	0,08	170,8	0,07	71,9	0,13	292,2	
	<b>Total [m³]</b>	356,1		138,2		420,7		
Camarín Piscina	Inodoro	6,00	7,49	2,90	3,62	4,80	5,99	59,9
	Urinario	-	-	-	-	-	-	
	Lavamanos	0,08	2,9	0,07	2,5	0,13	4,8	
	Duchas	0,16	194,5	0,11	138,8	0,13	159,7	
	<b>Total [m³]</b>	204,9		144,9		170,4		
Camarines -3	Inodoro	6,0	12,5	2,9	6,0	4,8	10,0	145,1
	Urinario	4,0	4,2	0,4	0,4	1,9	2,0	
	Lavamanos	0,08	3,6	0,07	3,1	0,13	6,1	
	Duchas	0,16	475,2	0,11	340,7	0,13	400,9	
	<b>Total [m³]</b>	495,4		350,3		419,0		

A partir de esta tabla se puede estimar el consumo de cada edificio a partir del cambio de artefactos, es interesante notar como en algunos casos el escenario 2 no presenta una disminución en el consumo sino un aumento, esto se debe a que algunos edificios de la facultad ya cuentan con artefactos de bajo consumo instalados. Otro punto importante por considerar a la hora de analizar estos escenarios es que para los edificios donde no se hayan

instalados urinarios se evalúan los escenarios en los que se instalan, esto es importante ya que el urinario tiene un menor consumo de agua que el inodoro por lo que el consumo total será menor que si no se consideran los inodoros, los edificios de Eléctrica, Torre Justicia Espada y el camarín de hombres del espacio de la piscina son estos casos.

El cálculo de consumo para la línea base y los distintos escenarios se estima a partir del uso y usuarios durante el año académico, es decir por un periodo de 10 meses, para estimar el consumo anual y la reducción estimada se proyecta este consumo a 10 meses y para el ahorro anual se compara con el consumo durante estos 10 meses, desde marzo a diciembre. La siguiente Tabla 26: “Potencial de volumen reducido” muestra la disminución anual, el ahorro equivalente dentro del edificio y el porcentaje de ahorro en función del agua total del año académico.

Tabla 26: Potencial de volumen reducido

Edificio	Consumo Línea base año académico [marzo - diciembre]	Consumo Escenario 1 año académico	Metros cúbicos ahorrados año académico	% Ahorro en el edificio	% Ahorro con respecto al consumo de agua total año académico
Torre Justicia Espada	864,3	502,6	361,8	41,9%	0,9%
Ed. Escuela	4663,9	1829,5	2834,4	60,8%	6,6%
Ed. Eléctrica	1198,1	703,5	494,6	41,3%	1,2%
Ed. Geología	2943,9	1113,8	1830,1	62,2%	4,3%
Ed. Química	1365,1	658,3	706,8	51,8%	1,7%
Ed. Física	1490,1	637,7	852,4	57,2%	2,0%
Ed. Civil Geofísica	840,7	412,7	428,0	50,9%	1,0%
Beaucheff 851	6536,8	4380,1	2156,7	33,0%	5,0%
Bueacheff 851 Norte	3561,0	1382,0	2179,0	61,2%	5,1%
Camarín Piscina	2048,6	1449,3	599,3	29,3%	1,4%
Camarines - 3	4954,3	3502,9	1451,4	29,3%	3,4%
<b>Total</b>	<b>30467,0</b>	<b>16572,5</b>	<b>13894,5</b>	<b>45,6%</b>	<b>32,5%</b>

A partir de esta tabla se ve el potencial de reducción que tiene cambiar los artefactos sanitarios en la facultad, se proyecta una disminución del 32% en el consumo anual si se aplica en todos los edificios de la facultad, por otro lado, se debe analizar la inversión necesaria para producir este cambio, en el Anexo G: “Nuevos Estándares” se muestra el costo asociado a cada nuevo artefacto, además se resume la cantidad de artefactos a instalar en cada edificio, con esta información se calcula el costo de implementación para cada

edificio. En la siguiente Tabla 27: “Costo de implementación Artefactos Sanitario” se muestra el costo de implementación y la tasa de retorno del proyecto, a partir del costo por m<sup>3</sup> presente en la Tabla 18: “Costo m<sup>3</sup> de agua en el 2023”.

Tabla 27: Costo de implementación Artefactos Sanitarios

Edificio	Costo de implementación	Metros cúbicos ahorrados año académico	Monto ahorrado [año académico]	Tasa de retorno [años]
Torre Justicia Espada	\$8.339.902	362	\$429.401	19,42
Ed. Escuela	\$12.890.230	2834	\$3.364.316	3,83
Ed. Eléctrica	\$4.811.114	495	\$587.058	8,20
Ed. Geología	\$6.244.528	1830	\$2.172.220	2,87
Ed. Química	\$3.428.838	707	\$838.958	4,09
Ed. Física	\$3.428.838	852	\$1.011.801	3,39
Ed. Civil Geofísica	\$7.396.672	428	\$508.028	14,56
Beaucheff 851	\$39.941.596	2157	\$2.559.833	15,60
Beaucheff 851 Norte	\$13.454.108	2179	\$2.586.342	5,20
Camarín Piscina	\$1.342.296	599	\$711.294	1,89
Camarines -3	\$5.673.926	1451	\$1.722.700	3,29
<b>Total</b>	<b>\$106.952.048</b>	<b>13895</b>	<b>\$16.491.952</b>	<b>5,40</b>

De esta tabla se puede ver como la inversión al ser aplicada en todos los edificios de la facultad se recupera en 5,4 años, sin embargo, la inversión necesaria para eso sería de más de 100 millones, por lo que es interesante evaluar la tasa de retorno de cada edificio para decidir cuales pueden aplicarse en medidas a corto, mediano y largo plazo.

### 8.3 Sistema de riego eficiente

En la siguiente Tabla 25: “Resumen uso de agua LB” se presenta un resumen de los sistemas de riego en la facultad y la cantidad de agua que estos ocupan durante el año.

Tabla 28: Resumen uso de agua LB

Tipo de riego	L/día	m <sup>2</sup> cubiertos	L/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /año
Manguera	35940	3374	10,7	8769
Riego automático	4571	752	6,1	1115
Aspersor	2842	415	6,8	694
Total [m <sup>3</sup> ]				10578

A partir de esto se aprecia cómo el uso de manguera directa representa el mayor consumo de agua dentro del riego en la facultad, además, es el método que cubre una mayor área verde cubre, teniendo esto en cuenta y las mejoras técnicas disponibles se presentan 3 escenarios en los que se busca disminuir el uso de agua:

- 1 Reemplazar el uso de manguera directa por un aspersor tipo “helicóptero”:
- 2 Reemplazar el uso de manguera o aspersor tipo “helicóptero” por un sistema de riego automático.
- 3 Reemplazar el uso de manguera por un sistema de riego por goteo.

El costo de inversión y su potencial de disminución son detallados a continuación:

- Escenario 1

En este escenario se propone que cada manguera tenga un aspersor (adherible al final de la manguera) de manera de aprovechar mejor el agua, por el área que cubre hoy por la manguera se agregarían a los cubiertos por el aspersor, para ello se debe comprar el aspersor y la estructura que permita tenerlo fijo en el suelo para poder ajustar el sector de riego. Se excluye Beaucheff 851 de esta adaptación debido a su distribución de áreas verdes, estas no permitirían un buen uso del aspersor. A partir de los factores de litros/m<sup>2</sup> de la Tabla 28: Resumen uso de agua LB” se calcula el uso de agua de este escenario, presente en la siguiente Tabla 29: “Escenario 1 riego eficiente”

Tabla 29: Escenario 1 riego eficiente

Escenario 1			
Tipo de riego	Área cubierta [m <sup>2</sup> ]	L/día	m <sup>3</sup> año
Manguera	154	1640	400
Riego automático	752	4571	1115
Aspersor	3635	24897	6075
<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>			<b>7591</b>

De esta manera se espera que el nuevo uso de agua en riego sea de 7591 m<sup>3</sup>, la Tabla 30: “Reducción escenario 1 riego eficiente” muestra como varía el uso de agua en este escenario.

Tabla 30: Reducción escenario 1 riego eficiente

Reducción	
Tipo de riego	m <sup>3</sup> año
Línea Base	10578
Escenario 1	7591
<b>Reducción</b>	<b>2988</b>

A partir de la tabla anterior se aprecia como la reducción de este escenario corresponde a 2988 m<sup>3</sup> anuales.

El costo asociado a 1 aspersor y los materiales necesarios para adecuarlos en el tipo de uso se presentan en la Tabla 31: “Costos escenario 1 riego eficiente”, a continuación:

Tabla 31: Costos escenario 1 riego eficiente

Material		Costo
Aspersor		\$4.490
Base de PVC	3 piezas T	\$360
	4 tubos ó 1 tubo 3m	\$1.512
<b>Total 1 aspersor</b>		<b>\$6.362</b>

Dentro de Beauchef 850 se hayan 9 mangueras distintas, considerando de que cada manguera cuente con su aspersor y que la facultad ya cuenta con 2 de estas estructuras se deben comprar 7 más de estas, el valor total del escenario 1 se presenta en la siguiente Tabla 32: “Resumen escenario 1 riego eficiente”, a continuación.

Tabla 32: Resumen escenario 1 riego eficiente

Escenario 1	Costo	Descripción
	\$44.534	Aspersor y base para sostenerlo

- Escenario 2

En este escenario se propone reemplazar el uso de manguera o aspersor conectado a manguera por un sistema de riego automático como el instalado, con excepción de 851 ya que el tipo de área verde no permite utilizar este tipo de riego de buena manera. El uso de agua por área verde y su uso total se presenta en la siguiente Tabla 33: “Escenario 2 riego eficiente”:

Tabla 33: Escenario 2 riego eficiente

Escenario 2			
Tipo de riego	Área cubierta [m <sup>2</sup> ]	L/día	m <sup>3</sup> año
Manguera	154	1640	400
Riego automático	4387	26668	6507
Total [m <sup>3</sup> ]			6907

De esta manera se espera que el nuevo uso de agua de riego sea de 6907 m<sup>3</sup>, Tabla 34: “Reducción escenario 2 riego eficiente” muestra como varía el uso de agua en este escenario.

Tabla 34: Reducción escenario 2 riego eficiente

Reducción	
Tipo de riego	m <sup>3</sup> año
Línea Base	10.578
Escenario 2	6.907
<b>Reducción</b>	<b>3.671</b>

A partir de la tabla anterior se aprecia como la reducción de este escenario corresponde a 3671 m<sup>3</sup> anuales.

El costo asociado a este escenario se calculó a partir de cotizaciones para cubrir 3371 m<sup>2</sup> de áreas verdes en Beauchef 850, el precio de estas cotizaciones se presenta en la siguiente Tabla 35: “Costos escenario 2 riego eficiente”:

Tabla 35: Costos escenario 2 riego eficiente

Proveedor	Costo por m <sup>2</sup>	Área por cubrir [m <sup>2</sup> ]	Costo total
Camelia y Lavanda	\$6.125	3635	\$22.264.375
2x3	\$3.500- \$6.000	3635	\$17.266.250

Considerando el precio promedio por m<sup>2</sup> y el menor de estas cotizaciones el costo esperado de este escenario se presenta en la siguiente Tabla 36: “Resumen escenario 2 riego eficiente”

Tabla 36: Resumen escenario 2 riego eficiente

Escenario 2	Costo	Descripción
	<b>\$17.266.250</b>	Valor aproximado del servicio de instalación de sistema de riego automático

- Escenario 3

En este escenario se propone combinar el riego automático con el riego por goteo, reemplazando el uso de manguera en las cubiertas vegetales por riego automático y sustituyendo el riego en las áreas verdes tipo jardineras por un sistema a goteo. En el Anexo H: “Riego” se detalla el tipo de área verde de cada sector, el área que abarca y el tipo de riego que ya tiene instalado dentro de la facultad para revisar más información al respecto. A partir del supuesto de que el sistema de riego por goteo reduce en un 40% el uso de agua con respecto al riego automático<sup>17</sup>, se construye la Tabla 37” Escenario 3 riego eficiente”, donde se muestra el área cubierta y el uso total de agua al año para cada tipo de riego dentro de este escenario.

Tabla 37: Escenario 3 riego eficiente

Escenario 3			
Tipo de riego	Área cubierta [m <sup>2</sup> ]	L/día	m <sup>3</sup> año
Riego por goteo	2331	8502	2074
Riego automático	2056	12498	3050
<b>Total [m<sup>3</sup>]</b>			<b>5124</b>

De esta manera se espera que el nuevo uso de agua de riego sea de 5124 m<sup>3</sup>, Tabla 38: “Reducción escenario 3 riego eficiente” muestra como varía el uso de agua en este escenario.

Tabla 38: Reducción escenario 3 riego eficiente

Reducción	
Tipo de riego	m <sup>3</sup> año
Línea Base	10578
Escenario 3	5124
<b>Reducción</b>	<b>5454</b>

A partir de la tabla anterior se aprecia como la reducción de este escenario corresponde a 5454 m<sup>3</sup> anuales. De este volumen reducido, 1907 m<sup>3</sup> corresponden al efecto de instalar riego automático, mientras que el efecto de instalar riego por goteo reduce en 3547 m<sup>3</sup> el riego total.

El costo asociado a este escenario se calculó a partir de cotizaciones para cubrir 2056 m<sup>2</sup> de áreas verdes en Beauchef 850 con riego por goteo y 2485 m<sup>2</sup> con riego automático, utilizando la misma información de cotización del escenario 2 para este último tipo de riego. El precio de estas cotizaciones se presenta en la siguiente Tabla 39: “Costos escenario 3 riego eficiente”:

Tabla 39: Costos escenario 3 riego eficiente

Tipo de riego	Proveedor	Costo por m <sup>2</sup>	Área por cubrir [m <sup>2</sup> ]	Costo total [CLP]
Goteo	Esperado	\$2.000 - \$40.000	2056	\$6.993.000
	jardineriajyb	\$3.000 - \$8.500	2056	\$13.403.250
Automático	2x3	\$3.500 - \$6.000	2331	\$9.766.000

Considerando el precio promedio por m<sup>2</sup> y el menor de estas cotizaciones el costo esperado de este escenario se presenta en la siguiente Tabla 40: “Resumen escenario 3 riego eficiente”:

Tabla 40: Resumen escenario 3 riego eficiente

Escenario	Costo	Descripción
3	<b>\$16.759.000</b>	Valor aproximado del servicio de instalación de sistema de riego por goteo y riego automático.

A partir de los m<sup>3</sup> de agua ahorrados anualmente se calcula el total ahorrado en pesos y con este valor se calcula cuantos años tarda en recuperarse la inversión. La Tabla 41: “Resumen propuestas de riego eficiente” muestra un resumen de cada escenario, con el uso de agua esperado, los m<sup>3</sup> reducidos, el costo de instalación y la tasa de retorno calculada a partir de los datos de la Tabla 21: “Costo m<sup>3</sup> de agua en el 2023”.

Tabla 41: Resumen propuestas de riego eficiente

Escenario	Descripción	Uso de agua anual esperado [m <sup>3</sup> ]	Volumen reducido al año [m <sup>3</sup> ]	Costo de instalación	Tasa de retorno [años]
1	Reemplazar el uso de manguera directa conectándola a un aspersor, con excepción de 851 ya que el tipo de área verde no permite utilizar este tipo de riego de buena manera.	7591	2988	\$44.534	0,013
2	Reemplazar el uso de manguera o aspersor conectado a manguera por un sistema de riego automático como el instalado, con excepción de 851 ya que el tipo de área verde no permite utilizar este tipo de riego de buena manera.	6907	3671	\$17.266.250	3,962
3	Reemplazar el uso de manguera por un sistema de riego por goteo para las áreas verdes tipo jardineras y riego automático para las cubiertas vegetales.	5124	5454	\$16.759.000	2,589

A partir de lo descrito en este apartado se recomienda como medida a corto plazo ejecutar el escenario 1, ya que la implementación de esta medida genera una reducción importante la cual es recuperada después del primer mes. Luego pensando en un periodo de mediano plazo se recomienda ejecutar el escenario 3, ya que esta medida reduce en un 50% el uso de agua en riego y es recuperada en tres años. Además, tiene la ventaja sobre el escenario 1 de que no depende de que una persona esté acomodando el aspersor en los distintos parches de área verde en el campus, factor que abre la oportunidad de un error humano constantemente.

## 8.4 Re-adequamiento de PTAG

Desde el 2014 la facultad cuenta con una planta de tratamiento de aguas grises (de ahora en adelante PTAG), la cual trata aguas grises provenientes de las duchas y lavamanos de los camarines ubicados en el subterráneo de Beaucheff 851, el agua tratada es utilizada para el riego de la facultad, sin embargo, debido a problemas con el olor y otras fallas la planta se encuentra detenida.

La PTAG es capaz de tratar las aguas grises para que luego esta agua sea utilizada como agua de riego, si bien la capacidad de la PTAG está sujeta al uso de duchas y lavamanos de los camarines tiene la capacidad para tratar 252 m<sup>3</sup> mensualmente, equivalente a casi el 30% del uso de agua en riego actual, y en el escenario 3 de un sistema de riego eficiente, se puede cubrir el 67%. En cualquier caso, el uso de la PTAG tiene el potencial de reducir en 2500 m<sup>3</sup> el uso de agua en la facultad, si se considera su uso óptimo durante el periodo de clases en los que tiene una alimentación constante de aguas grises.

Tras conversaciones con Alexis Peña, miembro del equipo de Infraestructura en Administración de Campus, se planea poner en funcionamiento la planta dentro del corto plazo, esto ya que las intervenciones para evitar los problemas de olores en la planta ya se realizaron, en la siguiente Tabla 42: “Estado PTAG” se detalla el estado de los principales componentes de la planta y los arreglos necesarios para ponerla en funcionamiento:

Tabla 42: Estado PTAG

Equipo	Estado	Repuesto existente	Costo
Bombas sinusoidales	Averiadas	Si	-
Motor agitador	Averiado	No	\$2.000.000
Biomasa	Muertas	No	\$69.137
Encargado de mantención	Sin definir	-	Costos administrativos de puesto de trabajo

Como se puede apreciar en la tabla anterior, para que la Planta de Tratamiento de Aguas Grises (PTAG) vuelva a estar en funcionamiento, es necesario adquirir un motor agitador, previamente cotizado en \$2.000.000, y nueva biomasa. Según la cotización proporcionada por “Aguamarket” (2024), el costo de la biomasa necesaria para el tratamiento de 250 m<sup>3</sup> mensuales es de \$69.137. Además, es esencial designar un responsable para la mantención de la planta, quien se encargará de monitorear y mantener los niveles de pH, cloro y otros indicadores de calidad del biorreactor.

Tabla 43: Resumen costo y retorno PTAG

Medida	Inversión [CLP]	Volumen reducido al año [m <sup>3</sup> ]	Tasa de retorno [años]
Re-adequamiento PTAG	2.069.137	2520	0,69

A partir de lo expuesto en la Tabla 43: “Resumen costo y retorno PTAG”, se aprecia como el re-adequamiento de la PTAG tiene una tasa de retorno de 0,69 años, esto sin considerar los costos administrativos de tener a una persona encargada del mantenimiento de la planta.

## 8.5 Xeripaisajismo

Cambiar las especies presentes en las áreas verdes de la facultad tiene el potencial de disminuir de manera considerable la demanda hídrica, si este cambio es acompañado de un sistema de riego eficiente la disminución del uso de agua puede llegar a ser mayor del 50%

Las áreas verdes por considerar dentro de este estudio son las que se encuentran en Beaucheff 850, la Figura 14: “Zonas de riego FCFM” delimita las distintas zonas dentro del patio:



Figura 14: Zonas de riego FCFM

La siguiente Tabla 44: “Zonas de riego y uso de agua” muestra el uso de agua según el sector y el tipo de riego que tiene.

Tabla 44: Zonas de riego y uso de agua

Sector	Área [m <sup>2</sup> ]	Consumo de agua [litros/día]	Tipo de riego
A	512	2444,4	Aspersor - Riego automático - Manguera
B	477	3184,9	Manguera
C	380	1808,3	Manguera - Aspersor
D	654	1695,6	Manguera
E	783	7896,7	Aspersor - Riego automático - Manguera
F	1581	6664,7	Manguera - Riego automático

Para el cálculo del ahorro en el uso de agua se considerará la implementación del xeripaisajismo en las áreas verdes del tipo jardineras, ya que estas son las que se puede instalar riego por goteo. Según conversaciones con Federico Baeza, experto en riego automático de la empresa “Riego Smart”, se considera una disminución del uso de agua en

función del sistema de riego actualmente instalado, de manera que al cambiar las áreas verdes se considera una disminución por tipo de riego y por las especies de menor consumo:

- Para las áreas verdes tipo jardinera que son regadas con manguera se considerará una disminución del 50% en el uso de agua.
- Para las áreas verdes tipo jardinera que son regadas con riego automático o aspersor se considerará una disminución del 40% en el uso de agua.

La Tabla 45: “Resumen intervención xeripaisajismo”, contiene un resumen del costo de inversión, los litros de agua ahorrados y la tasa de retorno considerando el costo por m<sup>3</sup> de la Tabla 21 utilizada en las otras medidas.

Tabla 45: Resumen intervención xeripaisajismo

Sector	Área intervenida [m <sup>2</sup> ]	Costo Total de la inversión	Litros de agua ahorrados al día	Volumen reducido al año [m <sup>3</sup> ]	Tasa de retorno [años]
A	-	-	-	-	-
B	203	\$609,000	639,40	156,01	3,29
C	260	\$780,000	598,70	146,08	4,50
D	406	\$1,218,000	526,30	128,42	7,99
E	471	\$1,413,000	2024,60	494,00	2,41
F	991	\$2,973,000	2611,92	637,31	3,93

En el Anexo I : “Xeripaisajismo” se encuentra un detalle de cómo se calculó cada intervención y el volumen reducido siguiendo las consideraciones antes mencionadas.

La Tabla 46: “Costo total implementación xeripaisajismo” resumen la información pensando en una intervención completa:

Tabla 46: Costo total implementación xeripaisajismo

Litros de agua ahorrados al día	Área intervenida [m <sup>2</sup> ]	Costo total de la intervención	Volumen reducido al año [m <sup>3</sup> ]	Tasa de retorno [años]
6401	2331	\$6.993.000	1562	3,77

A partir de estos resultados resulta interesante la posibilidad de combinar el xeripaisajismo en los sectores con áreas verdes del tipo jardinera y el riego automático para las cubiertas vegetales.

## 8.6 Conclusiones parciales – Evaluación de mejoras

El análisis realizado en este capítulo permite tener la información necesaria para plantear un plan de mejoras al sistema hídrico en la facultad, uno que considere tanto la inversión como el volumen reducido, el indicador con el que se mide esto es el de la tasa de retorno, ya que muestra cuanto tiempo pasa para que el volumen reducido anualmente permita recuperar el costo de la instalación, asimismo, aquellas medidas con una tasa de retorno menor serán las medidas en las que un peso invertido reduce un mayor volumen

Con respecto al recambio de artefactos se concluye que la implementación de un recambio total en la facultad no puede realizarse de manera inmediata ya que significaría una inversión demasiado grande, por lo que se hace interesante evaluar una implementación por partes, aquellos edificios con una tasa de retorno menor serán los edificios prioritarios ya que en estos se recuperará antes la inversión, permitiendo luego implementar la medida en otros edificios.

Por el lado de las mejoras a las pérdidas se evalúa la instalación de medidores de caudal y la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo, para la buena ejecución de este último es necesario estandarizar los artefactos sanitarios, por lo que su implementación vendría de la mano de esa medida, mientras que el sistema de monitoreo de caudal presenta una opción para evitar grandes pérdidas por rotura de cañerías o filtraciones no detectadas.

Al considerar la instalación de un sistema de riego eficiente no se puede pasar por alto la implementación del xeripaisajismo ya que este, al ser instalado debe contar con un sistema de riego eficiente, por lo que una buena forma de unir estas medidas es implementar el escenario 1 del sistema de riego eficiente, el cual tiene una tasa de retorno de meses y no implica un cambio importante en el sistema de riego, para luego implementar un sistema de riego automático para las cubiertas vegetales y para el resto el xeripaisajismo.

En el siguiente capítulo se propondrá un plan de acción para implementar estas medidas teniendo en consideración la tasa de retorno de las medidas, el efecto de las distintas medidas y como estas se interceptan entre sí.

## Capítulo 9

# Plan de aplicación de mejoras para el sistema hídrico de la FCFM

### 9.1 Plan de acción

A partir de la información recabada en los capítulos anteriores se propone aplicar las distintas medidas en un horizonte temporal de corto, mediano y largo plazo, de manera que la inversión sea en el tiempo y las mismas acciones puedan recuperar la inversión realizada, así, mejorar la gestión hídrica de la facultad y disminuir el uso de agua. Se propone tomar acciones en función de los tres ejes de mayor consumo, los artefactos sanitarios, jardinería y pérdidas.

Para determinar en qué horizonte temporal se aplicarán las medidas se consideró la tasa de retorno calculada en el capítulo anterior, este indicador permite evaluar qué tan rápido se podrá recuperar la inversión en función del volumen reducido, con esto en consideración y el objetivo temporal de las propuestas se expone un plan para mejorar el sistema hídrico de la facultad. Además, al final de cada plan de medidas se presenta un consumo esperado de la facultad tras haber implementado cada cambio, este consumo esperado es una referencia en función del consumo estimado durante el 2022, el cual depende fuertemente de la cantidad de personas dentro de la facultad, no se proyecta el aumento de alumnos, académicos o funcionarios dentro de la facultad, sino que se presenta como una referencia a la mejor situación posible en función del año 2022.

- Corto plazo (1 a 3 años)

Las medidas a corto plazo serán aquellas que pueden implementarse rápidamente y se centran en disminuir el uso de agua con resultados rápidos de comprobar, además en estos se busca que la inversión pueda recuperarse dentro de los 3 años. El resumen de la propuesta, el volumen ahorrado y el total de la inversión se presentan en la siguiente Tabla 47: “Propuesta a corto plazo”

Tabla 47: Propuesta a corto plazo

CORTO PLAZO - 3 años		Disminución del uso de agua al año [m <sup>3</sup> ]	Inversión
<b>Artefactos Sanitarios</b>			
Recambio de artefactos Sanitarios	Ed. Geología	1830	\$ 6.244.528
	Camarín Piscina	599	\$ 1.342.296
	Camarines -3	1451	\$ 5.673.926
<b>Jardinería</b>			
Riego	Escenario 1	2988	\$ 44.534
Xeripaisajismo	Sector E	911	\$ 2.349.000
	Sector B	389	\$ 1.431.000
<b>Pérdidas</b>			
Estado de artefactos	Revisión del estado de los artefactos en los edificios no renovados.	-	
<b>Inversión total</b>	<b>Volumen ahorrado anual [m<sup>3</sup>]</b>	<b>% reducción anual</b>	<b>Tiempo de recuperación [años]</b>
\$ 15.327.284	7519	12%	1,72

A partir del análisis técnico económico se propone tomar las medidas presentes en la Tabla 47: "Propuesta a corto plazo", con respecto a los artefactos sanitarios se propone ajustar a un nuevo estándar de consumo los espacios, edificio Geología, Camarín Piscina y Camarines espacios deportivos, si bien al revisar los flujos de los distintos artefactos estos tienen un flujo similar al estándar del escenario 1, la alta frecuencia de uso implica una disminución importante, además, estos espacios cuentan con un número de artefactos que combinados se asemejan al del edificio de Geología. Este último por otro lado, tiene el potencial de reducir un 62% su consumo de agua al cambiar a este nuevo estándar, si bien tiene una inversión considerable su tasa de retorno, como fue detallada en la Tabla 27: "Costo de implementación Artefactos Sanitario" es de 2,9 años, periodo, lo que le permite mostrar resultados de forma práctica en poco tiempo.

Con respecto al eje Jardines, se propone seguir el escenario 1, el cual propone utilizar más aspersores adjuntos a manguera para disminuir el uso de agua en riego, esto no genera la menor reducción en el uso de agua en jardinería si es una medida rápida para disminuir el uso, con una inversión dos órdenes de magnitud que cualquier otra medida, tiene una tasa de retorno menor a un mes de aplicación. Un detalle importante es que, si bien en teoría significa una disminución en el uso de agua, esta está sujeta al buen uso del artefacto y atención al uso por parte del equipo de jardinería. Por otro lado, se propone comenzar con un cambio de paisaje en los sectores B y E del patio, como se pueden apreciar en la Figura

14: “Zonas de riego FCFM”, ya que su cambio tiene la menor tasa de retorno y los mayores metros cúbicos de agua reducidos en función del área intervenida.

El último eje de trabajo corresponde a las pérdidas, la implementación de un equipo y calendario de revisión del estado de los artefactos de uso de agua es primordial para poder evitar pérdidas por fugas, por lo que se sugiere que se tenga un catastro del estado de los distintos artefactos de uso de agua en la facultad e ir monitoreando su estado periódicamente.

Sin considerar la inversión de tiempo y dinero de las medidas asociadas a pérdidas, la inversión total de la propuesta a corto plazo es de \$15.327.284 y tiene el potencial de reducir 7519 m<sup>3</sup> anualmente al compararlos con el actual uso de agua, lo que significa una reducción del 12% y con una tasa de retorno de 1,72 años, escenario prometedor para mejorar la gestión hídrica y el buen uso del agua en la FCFM.

La Tabla 48: “Consumo esperado tras medidas a corto plazo” muestra el consumo esperado tras implementar estas medidas, considerando el uso de agua que se tuvo durante el año 2022, es decir con el mismo número de personas en la facultad.

Tabla 48: Consumo esperado tras medidas a corto plazo

Consumo total esperado	
Sector	m <sup>3</sup> anual
Artefactos Sanitarios	32403
Riego	6850
Laboratorio	1859
Piscina	375
Pérdidas	11527
<b>Total</b>	<b>53013</b>
<b>Reducción total</b>	<b>12%</b>

Cómo se mencionó antes, este consumo esperado es una referencia según el comportamiento del 2022, no considera un aumento en las matrículas durante los años ni el cambio en el número de personas en los otros estamentos, es una tabla referencial para comparar con el posible consumo que podría haber tenido el año 2022 si se hubiesen aplicado estas medidas, otro factor a considerar es que las pérdidas se mantienen ya que las medidas más importantes para reducirlas se implementarán en el resto de horizontes de tiempo.

- Mediano plazo: 4 a 10 años

Estas medidas tienen un enfoque estratégico que permite tener una mejor gestión hídrica, se sigue con el recambio de artefactos en distintos edificios y se continua el plan de recambio de áreas verdes, pero se implementan estrategias para llevar un mejor seguimiento del uso de agua en los puntos críticos y comenzar a alimentar el riego con agua de la PTAG lo que en un horizonte de tiempo mayor se refleja en una mejor gestión. El resumen de la propuesta, el volumen ahorrado y el total de la inversión se presentan en la siguiente Tabla 49: “Propuesta a mediano plazo”.

Tabla 49: Propuestas a mediano plazo

<b>MEDIANO PLAZO - 10 años</b>		<b>Disminución del uso de agua al año [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Inversión</b>
<b>Artefactos Sanitarios</b>			
Recambio de artefactos Sanitarios	Ed. Escuela	2834	\$ 12.890.230
	Ed. Química	707	\$ 3.428.838
	Ed. Física	852	\$ 3.428.838
	Beaucheff 851 Norte	2179	\$ 13.454.108
<b>Jardinería</b>			
Xeripaisajismo	Sector C	146	\$ 780.000
	Sector F	637	\$ 2.973.000
Instalación de riego automático	Sector A	475	\$ 2.432.000
	Sector B	254	\$ 1.301.500
	Sector E	289	\$ 1.482.000
Planta de Tratamiento de Aguas Grises	Re-adecuamiento de la PTAG	2520	\$ 2.069.137
<b>Pérdidas</b>			
Estado de artefactos	Revisión estado de todos los artefactos	-	-
Sistema de seguimiento de flujo medidores	3 medidores con Módulo RF + Infraestructura recolección de datos	5.764	\$ 8.543.935
	Servicio de datos en Nube (3 instalados) [5 años]		\$ 3.207.967
<b>Inversión total</b>	<b>Volumen ahorrado anual [m<sup>3</sup>]</b>	<b>% reducción</b>	<b>Tiempo de recuperación [años]</b>
\$ 55.991.553	13670	23%	3,45

La tabla anterior muestra las medidas propuestas para un periodo a mediano plazo, con respecto a los artefactos sanitarios se propone realizar el recambio de los edificios: Escuela, Química, Física y Beaucheff 851 Norte, estos tienen una tasa de retorno de 3 a 5 años, y son edificios en los que se concentran una gran cantidad de clases, son los más usados por estudiantes por lo que el impacto de reducir el consumo de agua será importante, particularmente en los edificios escuela y Beaucheff 851 Norte ya que estos cuentan con una gran número de artefactos sanitarios sin embargo están bastante alejados del estándar que se propone, teniendo el potencial de reducir en un 60% su consumo de agua como se muestra en la Tabla 26: "Potencial de volumen reducido" .

En cuanto a la jardinería, se propone continuar con los sectores C y F, ya que presentan una tasa de retorno de entre 4 y 5 años. Respecto al riego eficiente, se sugiere instalar riego automático en las cubiertas vegetales de los sectores A, B y E. La combinación de xeripaisajismo en las jardineras y riego automático en las cubiertas vegetales permitirá optimizar las diversas opciones de riego disponibles. Además, se recomienda para este período el reacondicionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Grises, dado que ya se dispone de la mayoría de los repuestos necesarios para su puesta en marcha. Esta planta tiene el potencial de reutilizar 250 m<sup>3</sup> de agua mensuales provenientes de los camarines de Beauchef 851. Sin embargo, su funcionamiento dependerá del uso de estos camarines, por lo que se estima que operará durante el año académico (de marzo a diciembre). Durante los meses de enero y febrero, el riego de la facultad continuará dependiendo de la red de agua.

Para abordar las pérdidas de agua, se propone continuar con la revisión constante del estado de los artefactos sanitarios, iniciando el reemplazo o reparación de aquellos que se encuentren en mal estado, con el objetivo de mantener todos en óptimas condiciones de funcionamiento. Adicionalmente, se recomienda implementar un sistema de seguimiento de caudal para los Medidores 2, 4 y 9, dado que estos representan el 80% del consumo de agua de la facultad. Monitorear de cerca estos medidores permitirá reaccionar rápidamente ante posibles fugas y evitar grandes pérdidas, como las experimentadas durante los años 2022 y 2023.

La pronta detección y respuesta a estas fugas se traducirá en una reducción significativa del volumen de agua perdido, mejorando así la gestión hídrica en la facultad. Se estima que, al implementar esta medida, las pérdidas de agua podrían reducirse en un 50%, ya que la detección temprana permitiría actuar en la misma semana en que se origina la pérdida, a diferencia de la situación actual en la que estas fugas son identificadas después de uno o más meses desde su inicio. La cotización de esta medida incluye la instalación de medidores equipados con sistemas de registro, la infraestructura necesaria para la recepción de datos, y la capacitación para el uso del software de gestión de datos y alarmas de pérdida.

La inversión total de estas medidas es de \$55.991.553 y tienen el potencial de reducir un 23% el uso de agua con respecto a la línea base del 2022, si bien la inversión es más de dos veces mayor a las medidas a corto plazo, estas tienen el potencial de duplicar la disminución en el uso de agua e implementar un sistema de gestión para, en el futuro disminuir las pérdidas a lo mínimo.

La Tabla 50: “Consumo esperado tras medidas a mediano plazo” muestra el consumo esperado tras la implementación de las medidas a corto y mediano plazo, la reducción reportada se refiere a la reducción en comparación con el consumo esperado tras las medidas a corto plazo, por eso difiere a las reportadas en la Tabla 48: “Propuesta a mediano plazo”.

*Tabla 50: Consumo esperado tras medidas a mediano plazo*

Consumo total esperado	
Sector	m <sup>3</sup> anual
Artefactos Sanitarios	25830
Riego	5516
Laboratorio	1859
Piscina	375
Pérdidas	5764
<b>Total</b>	<b>39343</b>
<b>Reducción anual</b>	<b>26%</b>

- Largo plazo: +10 años

Estas medidas buscan completar los trabajos de recambio de artefactos y áreas verdes, además, incluye medidas que buscan abordar cuestiones fundamentales como tener un sistema de mantenimiento preventivo y un sistema de alarma temprana operativo. El resumen de la propuesta, el volumen ahorrado y el total de la inversión se presentan en la siguiente Tabla 51: “Propuesta a largo plazo”.

Tabla 51: Propuesta a largo plazo

<b>LARGO PLAZO - 10+ años</b>		<b>Disminución del uso de agua al año [m³]</b>	<b>Inversión</b>
<b>Artefactos Sanitarios</b>			
Recambio de artefactos Sanitarios	Ed. Eléctrica	495	\$ 4.811.114
	Ed. Civil Geofísica	428	\$ 7.396.672
	Beaucheff 851	2157	\$ 39.941.596
	Torre Justicia Espada	362	\$ 8.339.902
<b>Jardinería</b>			
Xeripaisajismo	Sector D	207	\$ 1.962.000
Instalación de riego automático	Sector C	111	\$ 570.000
	Sector D	230	\$ 1.178.000
	Sector F	547	\$ 2.802.500
<b>Pérdidas</b>			
Estado de artefactos	Todos los artefactos en buen estado		-
Sistema de seguimiento de flujo medidores	6 medidores con Módulo RF	5764	\$ 2.974.829
	Servicio de datos en Nube (considera todos los medidores y módulos instalados 9 en total) [10 años]		\$ 19.247.803
<b>Inversión total</b>	<b>Volumen ahorrado anual [m³]</b>	<b>% reducción</b>	<b>Tiempo de recuperación [años]</b>
\$ 88.480.416	10222	17%	7,29

La tabla anterior presenta las medidas a implementar a largo plazo. En lo que respecta a los artefactos sanitarios, se completará el recambio de estos en los edificios que aún no han sido intervenidos. En el caso de los edificios de Eléctrica, Civil-Geofísica y la Torre Justicia Espada, la inversión requerida es significativa en comparación con el volumen de agua

ahorrado, dado que estos edificios son los de menor concurrencia en la facultad, lo que resulta en un impacto relativamente menor.

Por otro lado, el edificio de Beauchef 851 ya cuenta con artefactos sanitarios que se aproximan al nuevo estándar, y además, posee un gran número de estos, lo que implica una inversión considerable, cercana a los 40 millones de pesos, representando aproximadamente el 50% de las medidas a largo plazo. Aunque el impacto de la renovación en este edificio parece ser elevado, esto se debe al uso intensivo de sus instalaciones. Se recomienda posponer la renovación de este edificio hasta el final, ya que sus artefactos actuales cumplen con un nivel de eficiencia cercano al estándar propuesto.

En cuanto a la jardinería, se propone completar la sustitución de las áreas verdes e instalar un sistema de riego automático en toda la facultad. Con esta intervención, toda la facultad contaría con un sistema de riego eficiente, minimizando al máximo el uso de agua. La planta de tratamiento de aguas grises estaría próxima a cubrir el consumo de agua durante el año; sin embargo, debido a su funcionamiento, durante los meses de enero y febrero será necesario utilizar agua de la red para el riego.

Por último, con respecto a las pérdidas se espera contar con un sistema de alerta temprana ante una fuga, habiendo instalado seguidores de caudal en todos los medidores de manera de evitar cualquier fuga importante, además, se espera contar con todos los artefactos sanitarios en buen estado y con un calendario de mantenimiento bien implementado de manera de evitar pérdidas por mal estado de cualquier artefacto, por estas razones se espera no tener pérdidas, un escenario ambicioso pero logable a largo plazo.

La inversión total de las medidas a largo plazo es de \$88.480.416 medidas que significan una disminución de 10222 m<sup>3</sup> anualmente, equivalente a una reducción del 17% con respecto al año 2022, si bien no parece ser importante estas medidas finalizan la implementación de medidas de gestión del agua y permitirán mantener el consumo de agua en el mínimo.

La Tabla 52: “Consumo esperado tras medidas a largo plazo” muestra el consumo esperado tras la implementación de las medidas a corto, mediano y largo plazo, la reducción reportada se refiere a la reducción en comparación con el consumo esperado tras las medidas a mediano plazo, por eso difiera a las reportadas en la Tabla 50: “Propuesta a largo plazo”.

Tabla 52: Consumo esperado tras medidas a largo plazo

Consumo total esperado	
Sector	m <sup>3</sup> anual
Artefactos Sanitarios	22389
Riego	4499
Laboratorio	1859
Piscina	375
Pérdidas	0
<b>Total</b>	<b>29122</b>
<b>Reducción anual</b>	<b>26%</b>

Tras analizar la línea base de uso de agua en la facultad, se ha evaluado el potencial de reducción a través de diversas medidas y se ha diseñado un plan con acciones a corto, mediano y largo plazo, con el objetivo de disminuir el consumo de agua en los tres principales ámbitos de la facultad: artefactos sanitarios, riego y pérdidas. Se propone un nuevo estándar de bajo consumo para los artefactos sanitarios, evaluando su impacto en cada edificio. En cuanto al riego, se analiza la posibilidad de transformar el paisaje de la facultad para incorporar especies de bajo consumo, adaptables al cambio climático, junto con un sistema de riego eficiente. Adicionalmente, la aplicación de la recolección selectiva de aguas grises permitirá reducir el uso de agua mediante la rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Grises (PTAG), utilizando este recurso para el riego de las áreas verdes. Finalmente, para disminuir las pérdidas, se sugiere la instalación de un sistema de monitoreo de consumo, que facilite la detección de pérdidas significativas en los distintos medidores, además de la implementación de un calendario de mantenimiento preventivo, con el objetivo de minimizar las pérdidas. Aunque el análisis de estas propuestas es ambicioso y conlleva un costo considerable, se enfoca en lograr la máxima reducción posible en la facultad. Con la implementación de todas las medidas, se estima que el consumo total anual sería de 29122 m<sup>3</sup>, lo que representa una reducción del 48% en comparación con la línea base de 2022.

Es importante señalar que esta estimación de consumo y su posible reducción a lo largo de los años se basa en el comportamiento modelado para el año 2022. Las proyecciones se han realizado siguiendo este mismo modelo y no contemplan un posible aumento o disminución en la matrícula de los próximos años, ni cambios en el número de docentes o personal auxiliar. El objetivo es presentar una proyección de referencia del potencial de reducción que se puede alcanzar, la cual se detalla en la siguiente sección.

## 9.2 Resumen de las medidas

Las medidas mostradas en la sección anterior buscan ser una guía para disminuir el consumo de agua en la facultad, estas toman distintas acciones que en conjunto y aplicadas en distintos horizontes temporales buscan mejorar el sistema hídrico de la facultad, en esta sección se muestra un resumen de los efectos de las distintas medidas en función de su horizonte temporal. En primera instancia se resume el efecto de aplicar las medidas a corto plazo en la siguiente Tabla 53: “Resumen impacto medidas a corto plazo” a continuación:

Tabla 53: Resumen impacto medidas a corto plazo

Resumen medidas a corto plazo	Periodo (3 años)
Reducción anual [m <sup>3</sup> ]	2506
Costo de implementación anual [CLP]	\$5.109.095
Costo operacional [CLP]	-
Consumo reducido/Peso invertido [litro/\$ año]	0,491

A partir de la tabla anterior se aprecia como al aplicar las medidas a corto plazo se genera una reducción anual de 2500 m<sup>3</sup>, con un factor de litros reducidos por peso invertido de 0,491, es decir por cada peso que se invierte se reduce casi medio litro de agua al año, lo cual es un valor considerable considerando que estas medidas están enfocadas en reducir el consumo a partir de una inversión menor que las próximas medidas y buscan aplicar medidas de fácil ejecución.

El resumen del efecto de aplicar las medidas a mediano plazo se presenta en la siguiente Tabla 54: “Resumen impacto medidas a mediano plazo” a continuación:

Tabla 54: Resumen impacto medidas a mediano plazo

Resumen medidas a mediano plazo	Periodo (5 años)
Reducción anual [m <sup>3</sup> ]	2734
Costo de implementación anual [CLP]	\$10.556.717
Costo operacional [CLP]	\$641.593
Consumo reducido/Peso invertido al año [litro/\$ año]	0,244

Al aplicar estas medidas a mediano plazo en un periodo de 5 años se busca reducir 2734 m<sup>3</sup> anualmente, volumen mayor que las medidas a corto plazo, pero con una inversión mayor, además de la aparición de costos operacionales para mantener el funcionamiento de los

equipos de medición de caudal de los distintos medidores. Estas medidas si bien tienen una menor relación de litro reducido por peso invertido, están enfocadas en cambiar el sistema hídrico de la facultad para reducir de forma importante el consumo de agua.

El resumen del efecto de aplicar las medidas a largo plazo se presenta en la siguiente Tabla 55: “Resumen impacto medidas a largo plazo” a continuación:

*Tabla 55: Resumen impacto medidas a largo plazo*

Resumen medidas a largo plazo	Periodo (5+ años)
Reducción anual [m <sup>3</sup> ]	2044
Costo de implementación anual [CLP]	\$13.251.557
Costo operacional [CLP]	\$1.924.780
Consumo reducido/Peso invertido [litro/\$]	0,134

Estas medidas buscan terminar de implementar los cambios importantes en el sistema hídrico de la facultad, la reducción anual en un periodo de 5 años sería de 2044 m<sup>3</sup> y con una relación de litro reducido por peso invertido de 0,134 el menor valor de estas medidas, esto ya que las medidas a largo plazo están enfocadas en terminar de estandarizar equipos de bajo consumo y realizar cambios en edificios donde el consumo de agua ya es cercano al estándar propuesto.

Por otro lado, las propuestas buscan ser una hoja de guía para reducir el uso de agua en la facultad, un resumen de como varía el consumo aplicando estas medidas se muestra en la siguiente Figura 15: “Consumo esperado de agua en la FCFM al aplicar medidas de mejoramiento del sistema hídrico”

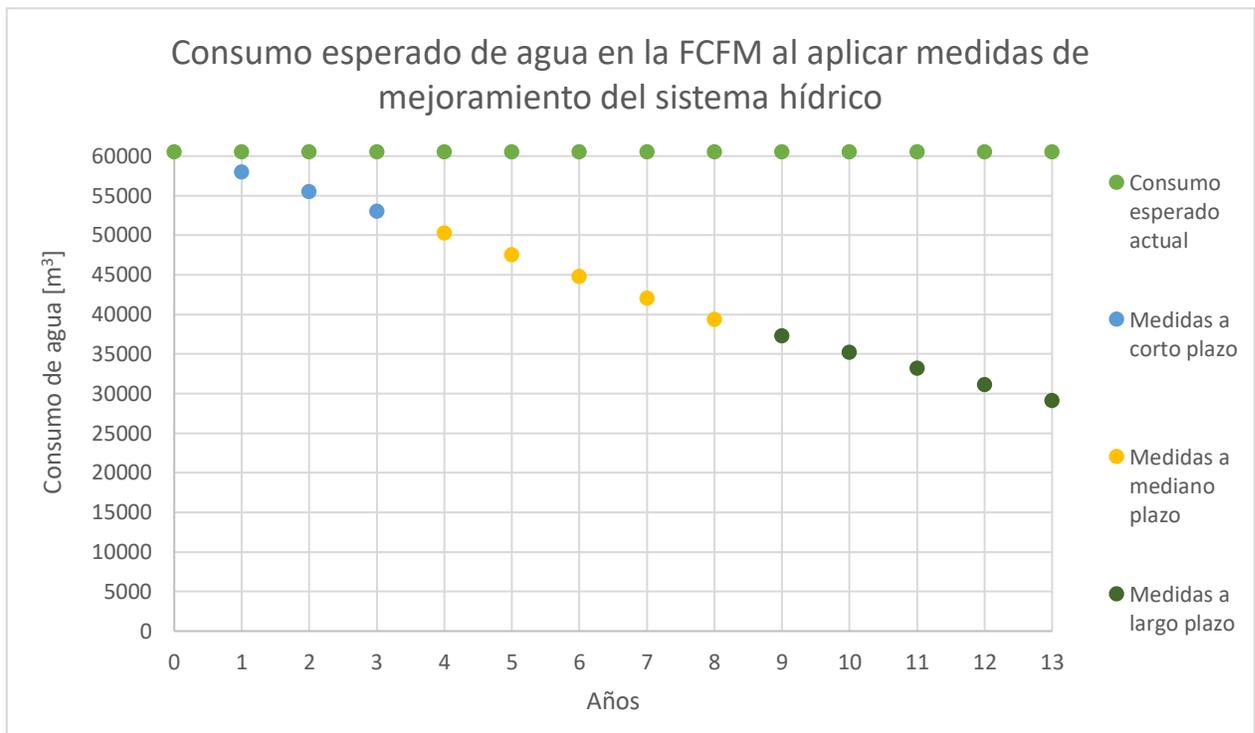


Figura 15: Consumo esperado de agua en la FCFM al aplicar medidas de mejoramiento del sistema hídrico

A partir de la figura anterior se observa que, suponiendo un consumo igual al del año 2022 para los próximos años, la implementación de las medidas propuestas permitirá reducir cerca del 50% el consumo de agua en los próximos 10 años. Esta disminución sería sostenida en el tiempo, avanzando hacia un sistema de gestión hídrica sin fugas y estandarizado, lo que facilitaría un mejor control de la operación. La figura ilustra el potencial de la facultad para reducir significativamente el consumo de agua y optimizar su sistema de gestión hídrica.

# Conclusiones finales

En el contexto actual de cambio climático, Chile se encuentra entre los países que más sufrirán los efectos de la escasez hídrica. Motivadas por esta preocupación, las Instituciones de Educación Superior (IES) chilenas, a través de la Red Campus Sustentable y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, han desarrollado el Acuerdo de Producción Limpia (APL) para Instituciones de Educación Superior Sustentable. Este acuerdo tiene como objetivo “identificar los aspectos de mayor relevancia, jerarquizar prioridades en la gestión, comprometer actividades y metas específicas en pos de su mejoramiento continuo, contribuyendo positivamente al cumplimiento de los estándares de sustentabilidad”. El APL actúa como una herramienta para que las universidades adheridas se comprometan a tomar acciones concretas y a reportar los avances de sus campus en materia de sustentabilidad.

En este marco, se plantea el objetivo de caracterizar la huella hídrica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) mediante una metodología que permita cuantificar los distintos usos de agua, con el fin de proponer acciones para reducir su impacto.

Para esto se identifican los medidores asociados a la facultad, su estado y se suponen los edificios a los cuales están conectados. A partir de las boletas de agua de Aguas Andinas se registra el comportamiento de cada medidor y el uso de agua total, el cual para el año 2022 fue de 60.532 m<sup>3</sup>. Se observa además una relación en el uso de agua y la estacionalidad: durante los meses con temperaturas más bajas y presencia de lluvias, el consumo de agua disminuye en comparación con los meses de mayor calor. Asimismo, en los meses de final de semestre, como julio y diciembre, se aprecia otra disminución debido a la baja asistencia a la universidad, lo que sugiere una relación entre las precipitaciones, la cantidad de personas en la facultad y el uso de agua.

A partir de mediciones empíricas y estimaciones se caracteriza el uso de agua en la facultad, asumiendo 5 principales consumos: artefactos sanitarios (inodoros, urinarios, grifos y duchas), riego, laboratorios, uso de agua en piscina y pérdidas. Las estimaciones mensuales de estos consumos se compararon y ajustaron con los registros de uso de agua recopilados durante, con el fin de determinar el uso de agua de cada actividad y así identificar las principales actividades que consumen agua en la FCFM. El volumen de agua en m<sup>3</sup> utilizados por cada sector en orden descendente fue: Artefactos sanitarios 36.283 (60%), pérdidas 11.527 (19%), riego 10.488 (17%), laboratorios 1.859 (3%) y piscina 375 (1%).

Es importante destacar que, debido a la metodología de ajuste utilizada, las pérdidas podrían estar sobreestimadas, ya que en los meses en que se registraron estas pérdidas, la estimación del uso de agua se desvió considerablemente del valor real. Por otro lado, el consumo de artefactos sanitarios, que constituye el mayor uso de agua, se ha estimado a partir de la

asistencia, el tiempo de permanencia de cada usuario y un uso esperado de cada artefacto, parámetros difíciles de verificar y donde podrían originarse las diferencias más significativas en el uso de agua. No obstante, los principales consumos de agua están determinados por los artefactos sanitarios, las pérdidas y el riego, mientras que el uso en laboratorios y piscina es mínimo en comparación con los otros. Por lo tanto, estas estimaciones se consideran una buena aproximación para caracterizar el uso de agua en la facultad..

Dado que el objetivo de este trabajo es proporcionar herramientas a la OIS para guiar la mejora del sistema hídrico de la facultad, se evaluaron las mejoras técnicas disponibles en función de su relación con las principales actividades de consumo, su impacto a lo largo del tiempo y la facilidad de implementación. Las medidas que cumplan con estos criterios serán posteriormente evaluadas desde un punto de vista económico, permitiendo a la OIS decidir cómo implementarlas en el tiempo. Las medidas seleccionadas para el análisis técnico-económico fueron: recambio de artefactos, sistema de riego eficiente, recolección selectiva, seguimiento de caudal y xeripaisajismo.

El análisis técnico-económico permite determinar el volumen potencial de reducción, el costo total de inversión y la tasa de retorno de cada una de las medidas. Con esta información, se propone un plan que abarca tres horizontes temporales distintos: corto, mediano y largo plazo, cada uno con objetivos específicos. El horizonte de corto plazo se centra en la implementación de medidas que demuestren resultados de reducción rápida. El horizonte de mediano plazo busca iniciar la implementación de medidas para desarrollar una estrategia efectiva de gestión hídrica. Finalmente, el horizonte de largo plazo se orienta a la implementación completa de todas las medidas de gestión hídrica, con el objetivo de alcanzar cero pérdidas y una actualización integral del sistema de gestión de agua en la facultad.

Además, se utiliza la caracterización del uso de agua durante el año 2022 para estimar el efecto de estas medidas, comparando los distintos escenarios con esta línea base de manera de ver el potencial de reducción de agua, las medidas a corto plazo muestran una reducción del 13% en el uso de agua con una inversión de \$17.000.000 y con una tasa de retorno de 1,76 años, las medidas a mediano plazo tienen el potencial de reducir un 27% el uso de agua tras una inversión de \$56.000.000 con una tasa de retorno de 2,95 años, por último las medidas a largo plazo tienen el potencial de reducir 16% el uso de agua con una inversión de \$84.000.000 y una tasa de retorno asociada de 7,58 años. Esto demuestra que la facultad tiene el potencial de reducir en un 56% el uso de agua en la facultad y se genera un plan para poder llegar a esta cifra.

Estos resultados le permiten a la facultad identificar en que se utiliza el agua en la facultad, el potencial de reducción de este y le permitirán a la Oficina de Ingeniería para la Sustentabilidad tomar acciones concretas con un objetivo claro para mejorar la gestión hídrica en la facultad.

Este análisis y metodología de estimación puede ser replicado en otras instituciones de educación superior o no tan lejos en otras facultades de la universidad de Chile, lo importante es definir los parámetros de cada edificio y el paso de las personas por estos, lo cual significa un importante trabajo de generar esa información, pero con esto el grueso de la estimación se logra, luego analizar las medidas que pueden ser favorables dentro de cada contexto.

A modo de cierre, se considera que se logran los distintos objetivos específicos del trabajo, se determina el uso de agua en la facultad a partir de las boletas de los medidores en la FCFM, se genera una metodología para estimar los distintos usos del agua y se compara con los registros mensuales para poder identificar las principales actividades y los puntos críticos a tratar si se busca disminuir el uso de agua, y a partir de un estudio técnico-económico se generan propuestas para disminuir el uso de agua y tener una mejor gestión hídrica en la facultad, de manera que se considera logrado el objetivo general de la tesis el cual es caracterizar la Huella Hídrica de la FCFM mediante una metodología que permita cuantificar las entradas y salidas que afecten a esta anualmente, para proponer acciones que reduzcan su impacto.

# Bibliografía

1. IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
2. Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.
3. WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua. 2018. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.
4. Institute for Economics & Peace. Ecological Threat Register 2020: Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace, Sydney, September 2020. Available from: <http://visionofhumanity.org/reports>.
5. Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). Water footprints of nations.
6. Hoekstra., A. Y.; Chapagain., A. K.; M. M. Aldaya; Mekonnen, M. M. The Water Footprint Assessment Manual; Earthscan: Earthscan LLC: Washington, DC, 2011.
7. Villagrán Montenegro, O. I. (2020). Elaboración y aplicación de metodología de cálculo de emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero para la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, homologable para otras instituciones de Educación Superior.
8. Morales Armijo, V. A. (2020). Propuesta de un sistema de gestión de residuos para la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile mediante una evaluación multicriterio que considere aspectos económicos y ambientales.
9. Montenegro Araneda, A. B. (2021). Indicador de huella de agua territorial para Chile enfocado al sector productivo.
10. Dirección de Sustentabilidad, P. U. C. de C. Huella Hídrica Institucional 2018. (2018).
11. Durán Rodríguez, C. P. CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA DEL CAMPUS CASA CENTRAL VALPARAÍSO DE LA UTFSM. (2019).

12. Universidad Tecnológica Metropolitana, P. de S. Estimación de la Huella Hídrica para cd. (2012).
13. ASCC. (2021). Acuerdo de Producción Limpia II Educación Superior Sustentable. Obtenido de <https://www.redcampussustentable.cl/wp-content/uploads/2022/08/APL-II-Campus-Sustentable-Nov21-VFinal.pdf>.
14. LEED, U.S. Green Building Council. Water Efficiency: Integrated Water Management.
15. Burgos, G. & Rubio, M. Consumo de Agua en Laboratorios de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Reporte Gestión del Recurso Hídrico. (2015).
16. Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J. M. & Paneque, M. Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Clim. Dyn.* **54**, 4309–4330 (2020).
17. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, G. de E. Riego Localizado. <https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-localizado.aspx>.

# Anexos

## Anexo A: Registro de consumo por boletas de Aguas Andinas

La Tabla A - 1: "Consumo registrado por boletas Aguas Andinas" a continuación muestra el consumo registrado por las boletas facturadas durante el año 2022. Se cobra el mes anterior a la factura de manera de tener registro del mes correspondiente a la toma de datos por el medidor.

Tabla A - 1: Consumo registrado por boletas Aguas Andinas

Cuenta	Medidor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
461384	Medidor 1	33	33	455	293	284	2	2	28	16	119	70	98
461398	Medidor 2	6412	3451	1223	746	506	543	553	609	589	624	993	1032
461399	Medidor 3	129	129	667	212	169	205	109	125	114	103	285	129
461400	Medidor 4	1189	1686	1265	928	843	911	1002	1017	1076	1018	1297	1159
461401	Medidor 5	200	362	260	161	142	94	125	172	175	159	195	169
461403	Medidor 6	341	528	482	404	147	251	70	88	296	198	152	66
461406	Medidor 7	16	6	34	25	13	29	53	49	173	132	120	16
461408	Medidor 8	410	229	372	233	257	291	126	138	247	480	474	224
2398282	Medidor 9	1244	1131	2039	1437	1193	1184	1363	1268	1269	1638	2118	1606

Los valores en **amarillo** corresponden a boletas con consumos estimados y no representan el consumo real de esos meses, para tener una representación más cercana a la realidad se realiza una estimación a partir de la diferencia de los valores registrados en los medidores cuando se pudo y en los casos en los que no se puede estimar de esta manera se mantuvo el valor estimado por "Aguas Andinas",

A continuación se muestra la Tabla A - 2: “Consumo según boletas Aguas Andinas ajustado”

Tabla A - 2: Consumo según boletas Aguas Andinas ajustado

Cuenta	Medidor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total [m <sup>3</sup> /año]
461384	Medidor 1	434	435	435	293	284	4	4	4	4	119	70	98	2184
461398	Medidor 2	6412	3451	1223	746	506	543	553	609	589	624	993	1032	17281
461399	Medidor 3	129	129	129	212	169	205	109	125	114	142	143	97	1703
461400	Medidor 4	1189	1686	1265	928	843	911	1002	1017	1076	1018	1297	1159	13391
461401	Medidor 5	200	362	260	161	142	94	125	172	175	159	195	169	2214
461403	Medidor 6	132	132	482	404	147	251	70	88	99	99	152	66	2122
461406	Medidor 7	16	6	34	25	13	29	53	49	173	132	120	16	666
461408	Medidor 8	410	229	372	233	257	291	126	138	247	480	474	224	3481
2398282	Medidor 9	1244	1131	2039	1437	1193	1184	1363	1268	1269	1638	2118	1606	17490

Donde:

- Los valores en verde corresponden al consumo estimado a partir de las diferencias de consumo de los medidores entre los meses que se tiene registro.
- Los valores en amarillo corresponden al consumo estimado a partir de consumos de años anteriores para este mes.

A continuación, se muestran figuras con los patrones de consumo de cada medidor de manera de estudiar su estacionalidad, estas figuras se construyen a partir de los datos ajustados.

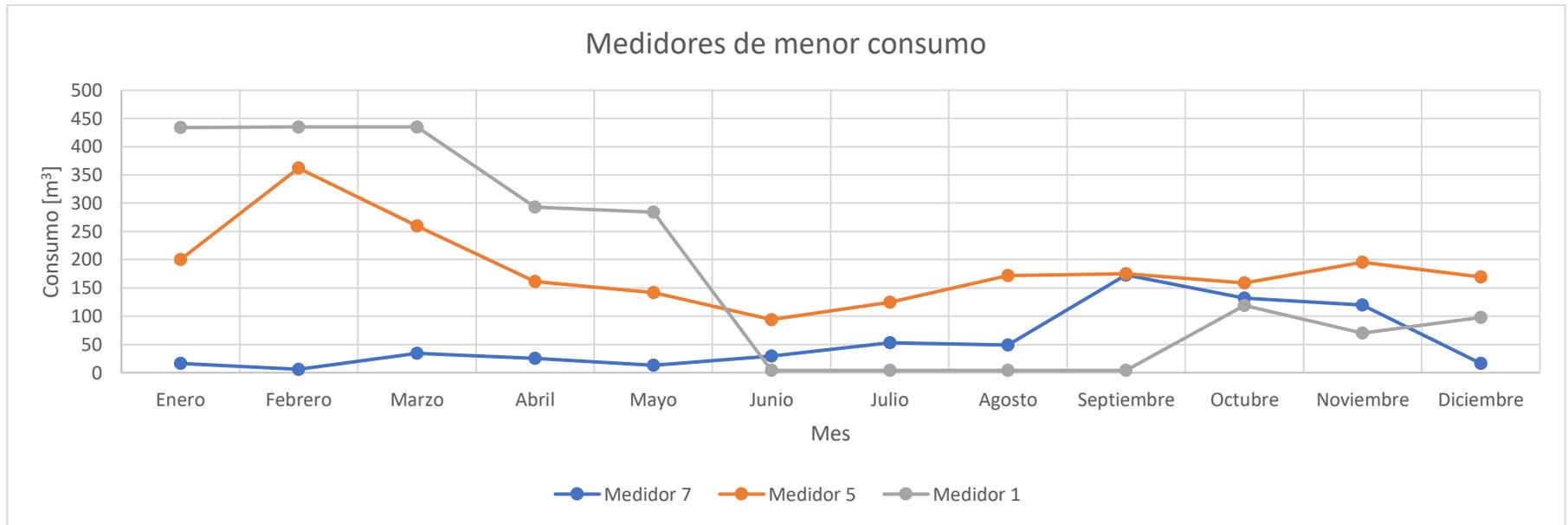


Figura A - 1: Medidores de menor consumo

A partir de la Figura A - 1: "Medidores de menor consumo" se aprecia un comportamiento dominado por la estacionalidad, los meses de mayor temperatura son los meses de mayor consumo, durante el periodo de lluvias el consumo disminuye considerablemente, particularmente el medidor 1, se supone está conectado solamente al riego, por eso su uso tan marcado por la estación. Por otro lado, los medidores 5 y 7 se supone están asociados, además de riego, a algún edificio de la facultad, el medidor 5 tiene un consumo relativamente dominado por la estacionalidad, pero marcado también con disminuciones en su consumo para los meses de cierre de semestre como lo son junio y diciembre. Por último el medidor 7 se supone está conectado con el edificio de eléctrica, tiene un consumo constante hasta septiembre donde se supone los alumnos del segundo semestre que entran a la carrera comienzan a utilizar más el edificio para los distintos trabajos y en diciembre desciende abruptamente debido a la disminución en las clases y por consiguiente la frecuencia de uso del edificio por parte de los alumnos.

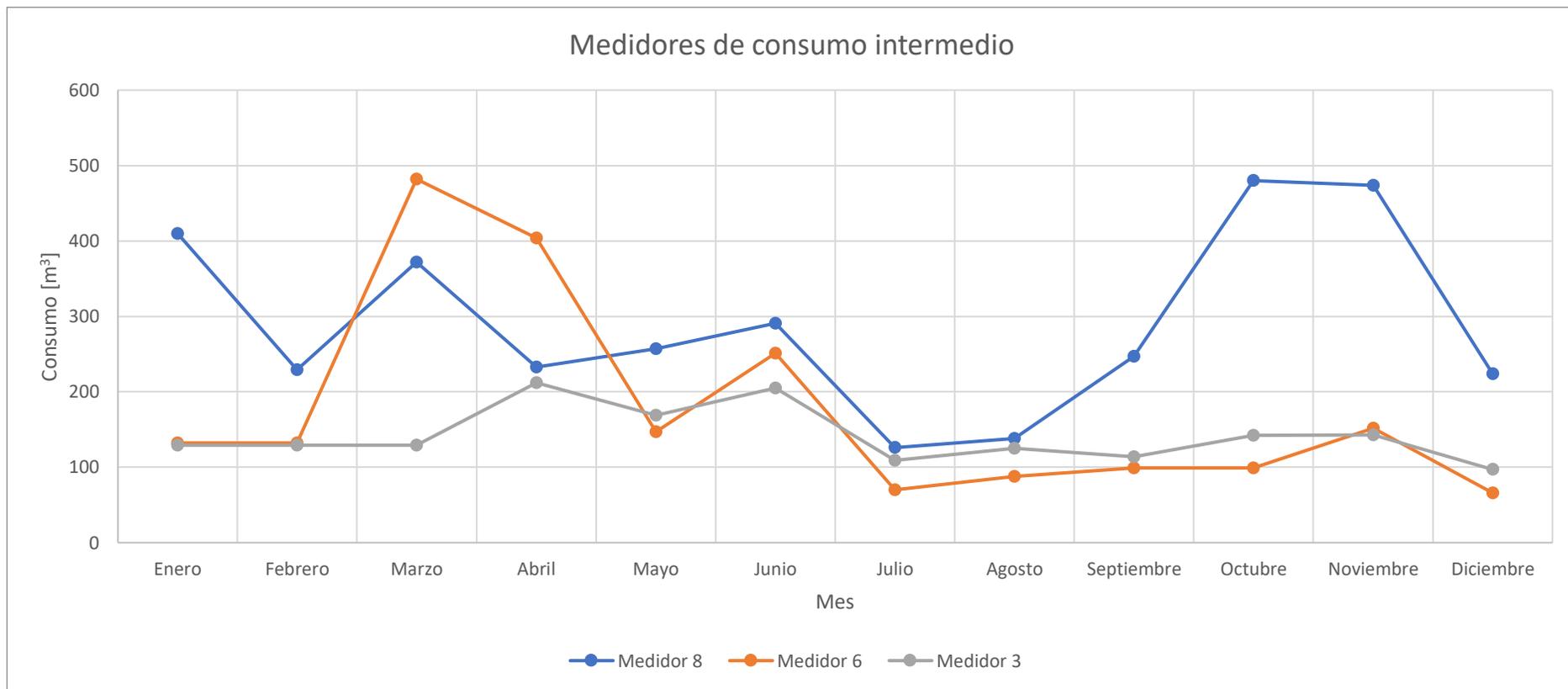


Figura A - 2: Medidores de consumo intermedio

Con respecto a la Figura A - 2: “Medidores de consumo intermedio” se puede ver el efecto de la estacionalidad, donde los meses entre junio y agosto registran los menores consumos. En septiembre y octubre vuelve a subir este por la temporada de mayor temperatura, para luego volver a descender en diciembre producto de la baja asistencia a clases, debido al fin del año académico. Es importante destacar que el medidor 8, el cual se supone está vinculado con el edificio de química y el riego alrededor tiene asociado el efecto de la asistencia a clases, donde los meses de septiembre a noviembre su consumo aumenta considerablemente, para luego disminuir en diciembre en el fin de clases.

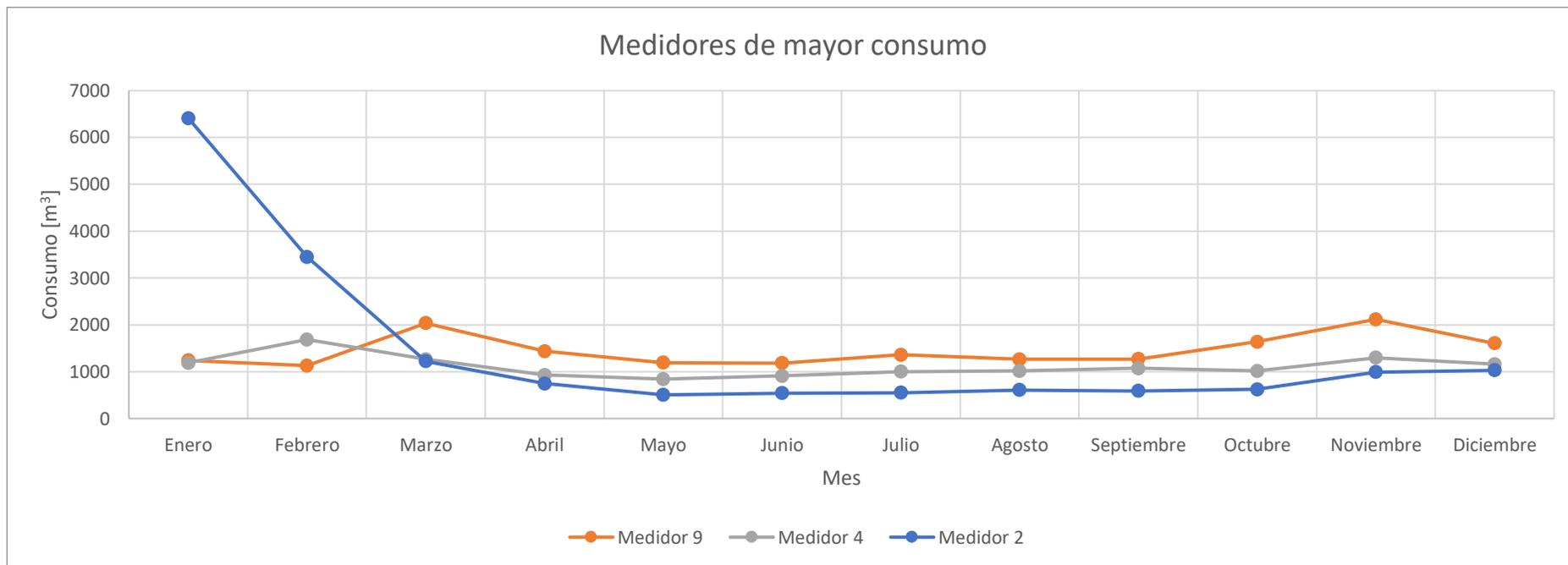


Figura A - 3: Medidores de mayor consumo

A partir de la Figura A - 3: “Medidores de mayor consumo” se ve claramente una anomalía en el consumo del medidor 2, durante los meses de enero y febrero debido a una fuga en la matriz de agua de este medidor, que fue reparada en el mes de marzo. Sin embargo, a partir del registro de boletas, se compara con el consumo de enero y febrero para los años 2020 y 2021 a continuación en la Tabla A - 3: “Consumo medidor 2 enero y febrero 2020 y 2021”, los que se promediaron para generar la Figura A - 4: “Medidores de mayo consumo\*”, y así poder analizar de mejor manera el comportamiento.

Tabla A - 3: Consumo medidor 2 enero y febrero 2020 y 2021

Medidor	Enero		Febrero	
Medidor 2	2020	2021	2020	2021
	1114	1708	1638	1828
Promedio [m³]	1411		1733	

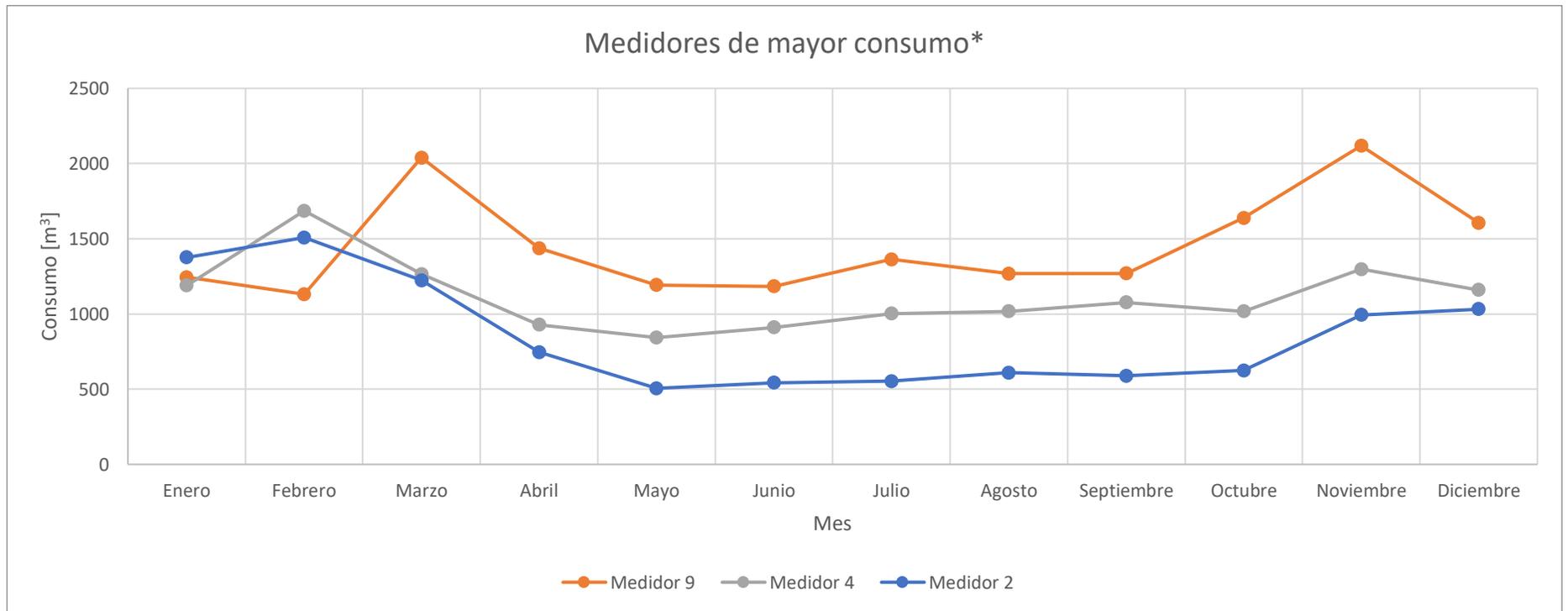


Figura A - 4: Medidores de mayor consumo\*

Con este ajuste en los datos, se puede ver cómo para el Medidor 2, el mayor consumo se ve en verano, con una cantidad reducida de personas en la Facultad, pudiendo deberse al alto consumo de agua asociado al riego por las altas temperaturas. Por otro lado, el Medidor 9, correspondiente a Beauchef 851, muestra el mayor consumo en marzo, mes en el que inicia el año académico, para luego disminuir y mantenerse hasta septiembre, donde vuelve a aumentar el consumo debido al aumento relacionado con el riego. Este consumo vuelve a disminuir en diciembre por la baja en la asistencia a la Universidad por el fin del año académico.

## Anexo B: Parámetros Artefactos sanitarios

En este anexo se muestra la información utilizada para determinar los parámetros a utilizar en la estimación del uso de agua de los artefactos sanitarios.

- Usuarios:

Uso de los espacios deportivos en la facultad.

El uso de espacios deportivos en la facultad se dividió en 3 categorías: Uso de espacios deportivos por parte de alumnos, uso gimnasio de pesas por funcionarios y uso de espacios deportivos por ramos (DR's). Para cada uno de estos usos se estima el uso del año a partir de un mes representativo, con excepción del uso por DR's ya que esta información se obtiene directamente de U-campus. A continuación, se muestra el cálculo realizado para determinar cada uno.

Uso de espacios deportivos por parte de alumnos:

En esta categoría se contabiliza el uso de las distintas instalaciones deportivas de la facultad, estas son:

- Cancha de baby-futbol/voleibol
- Sala aeróbica
- Cancha futsal
- Dojo
- Sala spinning
- Gimnasio de pesas

Para cada espacio el área de deportes compartió el número de alumnos que utilizan a la semana, se omiten los horarios en los que la sala es utilizada por DR's ya que se contabilizan en otro apartado, a continuación, se muestra la información entregada.

Tabla B - 1: Uso cancha babyfutbol/voleibol

CANCHA BB / VB					
Bloque	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07.00 - 08.00	24	20	20	20	20
08.30 - 09.45	-	-	-	-	-
10.15 - 11.30	-	-	-	-	-
12.00 - 13.15	-	20	-	25	-
13.15 -14.30	24	-	24	-	24
14.30 - 15.45	24	12	24	12	24
16.15 - 17.30	12		12		12
18.00 - 19.15	-	24	-	24	-
19.45 - 21.00	20	25	20	20	25

Tabla B - 2: Uso Sala aeróbica

Sala aeróbica					
Bloque	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07.00 - 08.00	-	-	-	-	-
08.30 - 09.45	-	-	-	-	-
10.15 - 11.30	-	-	-	-	-
12.00 - 13.15	-	25	-	25	-
13.15 -14.30	-	-	-	-	-
14.30 - 15.45	-	-	-	-	-
16.15 - 17.30	-	-	-	-	-
18.00 - 19.15	25	-	25	-	-
19.45 - 21.00	-	-	-	-	-

Tabla B - 3: Uso cancha Futsal

CANCHAS FUTSAL					
Bloque	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07.00 - 08.00	-	20	25	20	25
08.30 - 09.45	-	-	-	-	-
10.15 - 11.30	-	-	-	-	12
12.00 - 13.15	-	-	12	-	-
13.15 -14.30	-	-	-	-	-
14.30 - 15.45	-	20	-	20	20
16.15 - 17.30	-	-	-	-	-
18.00 - 19.15	-	25	14	25	25
19.45 - 21.00	-	-	-	-	-

Tabla B - 4: Uso Dojo

DOJO					
Bloque	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07.00 - 08.00	-	-	-	-	-
08.30 - 09.45	-	-	-	-	-
10.15 - 11.30	-	-	-	-	-
12.00 - 13.15	-	-	-	-	-
13.15 -14.30	-	-	-	-	-
14.30 - 15.45	14	-	-	-	14
16.15 - 17.30	-	-	-	-	-
18.00 - 19.15	-	5	-	5	-
19.45 - 21.00	-	-	-	-	-

Tabla B - 5: Uso Sala Spinning

Sala Spinning					
Bloque	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07.00 - 08.00	5	5	-	5	5
08.30 - 09.45	5	-	5	-	5
10.15 - 11.30	5	-	-	-	5
12.00 - 13.15	5	-	5	-	5
13.15 - 14.30	-	-	-	-	-
14.30 - 15.45	5	-	5	-	-
16.15 - 17.30	-	5	5	5	5
18.00 - 19.15	5	5	5	5	5
19.45 - 21.00	-	-	-	-	-

La Tabla B - 6: "Resumen usuarios espacios deportivos" contiene un resumen de la información entregada por el área de deportes.

Tabla B - 6: Resumen usuarios espacios deportivos

Espacio	Total semanal
Cancha BB/VB	511
Sala aeróbica	100
Cancha futsal	263
Dojo	38
Sala Spinning	115
<b>Total</b>	<b>1027</b>

Con esto se determina que el uso diario es de  $1027/5 = 205,4$ . Con este número se calculará el uso de estos espacios durante el año.

Para determinar el uso del gimnasio de pesas el área de deportes de la facultad compartió el uso de los horarios libres del gimnasio por un mes, la información se presenta en la Tabla B - 7: “Uso del gimnasio de pesas en mes tipo”, a continuación:

*Tabla B - 7: Uso del gimnasio de pesas en mes tipo*

Día	Usuario	Total
02-may	Alumnos	72
	Funcionarios	6
03-may	Alumnos	20
	Funcionarios	8
04-may	Alumnos	52
	Funcionarios	10
05-may	Alumnos	25
	Funcionarios	7
06-may	Alumnos	62
	Funcionarios	8
09-may	Alumnos	62
	Funcionarios	4
10-may	Alumnos	17
	Funcionarios	5
11-may	Alumnos	48
	Funcionarios	5
12-may	Alumnos	19
	Funcionarios	9
13-may	Alumnos	67
	Funcionarios	6
16-may	Alumnos	41
	Funcionarios	2
17-may	Alumnos	24
	Funcionarios	9
18-may	Alumnos	50
	Funcionarios	11
19-may	Alumnos	18
	Funcionarios	11
20-may	Alumnos	34
	Funcionarios	5
23-may	Alumnos	82
	Funcionarios	5
24-may	Alumnos	30
	Funcionarios	10
30-may	Alumnos	69
	Funcionarios	4
31-may	Alumnos	30
	Funcionarios	9
01-jun	Alumnos	62
	Funcionarios	5
02-jun	Alumnos	22
	Funcionarios	9
03-jun	Alumnos	79
	Funcionarios	5

El resumen de la información anterior se presenta en la siguiente Tabla B - 8: Uso del gimnasio de pesas”.

*Tabla B - 8: Uso del gimnasio de pesas*

Uso gimnasio de pesas		Días	22
Usuario	Total	Usuario/día	
Alumnos	985	44,77	
Funcionarios	153	6,95	

Con este dato se determina el uso de este espacio para todo el año.

Se trabajó bajo el supuesto de que esta frecuencia de uso se mantuvo durante todo el año, con excepción del mes de febrero ya que las instalaciones deportivas estuvieron cerradas este mes. Para determinar los días de uso se asumen que los espacios estuvieron habilitados los mismos días en los que la universidad estuvo abierta, esta información se muestra en la siguiente Tabla B - 9: “Días de uso habilitados”, a continuación.

*Tabla B - 9: Días de uso habilitados*

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días de uso habilitados	21	0	19	22	23	20	21	23	17	18	18	20

Con esta información y la obtenida a partir de la inscripción de ramos deportivos de Ucampus se construye la Tabla 3: “Número de usuarios en instalaciones deportivas de FCFM 2022” en la memoria.

- Línea base de artefactos:

A continuación, se muestran los resultados del levantamiento de artefactos sanitarios en la FCFM:

Tabla B - 10: Resumen línea base de artefactos sanitarios

Edificio	Número de artefactos			
	Inodoros	Urinarios	Lavamanos	Duchas
Beaucheff 851	142	88	208	0
Beaucheff 851 Norte	49	23	52	0
Torre Justicia Espada	43	0	48	0
Ed. Escuela	47	21	59	0
Ed. Eléctrica	25	0	26	0
Ed. Geología	22	12	18	0
Ed. Química	13	5	17	0
Ed. Física	13	5	17	0
Ed. Civil Geofísica	30	9	37	0
Piscina	6	0	7	12
Camarines (-3)	18	11	32	36

Para cada edificio se realizó una medición del caudal de los artefactos de flujo para determinar los parámetros de los artefactos sanitarios de cada edificio, los resultados de cada edificio se muestran a continuación:

Tabla B - 11: Parámetros artefactos sanitarios Edificio Geología

Edificio Geología	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo [l/descarga ó l/s]	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,104	l/s	0,167
	Cuello cisne	0,085	l/s	
	Pulsador	0,282	l/s	
	Pulsador	0,216	l/s	
	Pulsador	0,149	l/s	

Tabla B - 12: Parámetros artefactos sanitarios Torre Justicia Espada

Torre Justicia Espada	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,075	l/s	0,081
	Pulsador	0,087	l/s	
	Pulsador	0,092	l/s	
	Pulsador	0,070	l/s	

Tabla B - 13: Parámetros artefactos sanitarios Beaucheff 851

Beaucheff 851	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,034	l/s	0,07
	Pulsador	0,085	l/s	
	Pulsador	0,066	l/s	
	Pulsador	0,055	l/s	
	Cuello cisne	0,11	l/s	

Tabla B - 14: Parámetros artefactos sanitarios Beaucheff 851 norte

Beaucheff 851 Norte	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo [l/descarga ó l/s]	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,029	l/s	0,076
	Pulsador	0,029	l/s	
	Pulsador	0,071	l/s	
	Pulsador	0,081	l/s	
	Cuello cisne	0,17	l/s	

Tabla B - 15: Parámetros artefactos sanitarios Edificio Química

Edificio Química	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,077	l/s	0,101
	Pulsador	0,077	l/s	
	Pulsador	0,125	l/s	
	Pulsador	0,11	l/s	
	Pulsador	0,097	l/s	
	Pulsador	0,125	l/s	

Tabla B - 16: Parámetros artefactos sanitarios Edificio Física

Edificio Física	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,102	l/s	0,129
	Pulsador	0,131	l/s	
	Pulsador	0,135	l/s	
	Pulsador	0,155	l/s	
	Pulsador	0,159	l/s	
	Pulsador	0,164	l/s	
	Pulsador	0,057	l/s	

Tabla B - 17: Parámetros artefactos sanitarios Edificio Civil-Geofísica

Edificio Civil-Geofísica	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,12	l/s	0,099
	Pulsador	0,066	l/s	
	Pulsador	0,115	l/s	
	Monomando	0,084	l/s	
	Pulsador	0,118	l/s	
	Monomando	0,094	l/s	

Tabla B - 18: Parámetros artefactos sanitarios Piscina

Piscina	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,026	l/s	0,056
	Pulsador	0,046	l/s	
	Pulsador	0,033	l/s	
	Pulsador	0,045	l/s	
	Cuello cisne	0,132	l/s	

Tabla B - 19: Parámetros artefactos sanitarios Camarines (-3)

Camarines (-3)	Flujo Artefactos			
	Tipo	Flujo	Unidades	Promedio Edificio
Inodoro	Estándar	6	l/descarga	6
Urinario	Pulsador	4	l/descarga	4
Llave	Pulsador	0,026	l/s	0,056
	Pulsador	0,0461	l/s	
	Pulsador	0,033	l/s	
	Pulsador	0,045	l/s	
	Cuello cisne	0,132	l/s	

## Anexo C: Riego

Para mantener las áreas verdes el equipo de paisajismo regará siguiendo el siguiente protocolo:

- Se riego de lunes a sábado
- Si hay un feriado entre semana y el equipo de paisajismo no asiste, al día siguiente de riego se aumentará el volumen
- Los días de lluvia no se riega
- Dependiendo de la intensidad de la lluvia se evaluará la humedad en el suelo para decidir si se riega o no.

Con todo esto se determina la cantidad de días que se regó en la facultad, presentes en la Tabla 7: “Días de riego en la facultad” dentro del escrito. Para el cálculo del volumen de riego diario se tomó el tiempo de riego y el flujo de cada tipo de riego para así determinar el volumen total utilizado ese día, los resultados de las inspecciones y cálculos se presentan en la siguiente Tabla C -1: “Cálculo uso de agua diario en riego”:

Tabla C - 1: Cálculo uso de agua diario en riego

Sector	Metros cuadrados	Medidor asociado*	Artefacto	N°	Flujo [l/s]	Tiempo			Número de artefactos	Volumen total [L]
						Horas	minutos	segundos		
A.1	238	Medidor 4	Aspersor	1	0,200		20		1	240,0
A.2	68	Medidor 5	Riego automático	1	0,090		20		8	864,0
A.3	138	Medidor 4	Manguera	1	0,777		9	5	1	423,2
A.2	68	Medidor 4	Aspersor	1	0,200	1	16	26	1	917,2
B.1-2-4	256	Medidor 8	Manguera	2	0,500	1	12	28	1	2174,0
B.5	121	Medidor 4	Manguera	1	0,777		12	30	1	582,4
B.3	100	Medidor 8	Manguera	2	0,500		14	17	1	428,5
C.1-2	216	Medidor 4	Manguera	3	0,669		31	52	1	1279,9
D.1-2-3-4-5-6-7-8	654	Medidor 5	Manguera	4	0,567		49	52	1	1695,6
C.4	139	Medidor 4	Manguera	5	0,515		15	32	1	480,4
E.2-3-4-5	253	Medidor 2	Manguera	6	0,578	1	56	11	1	4027,7
C.3	25	Medidor 2	Aspersor	2	0,200		4		1	48,0
E.1	84	Medidor 2	Aspersor	2	0,200		59	37	1	715,4
F.1-2	430	Medidor 2	Manguera	7	0,650		45	15	1	1764,8
E.6-7-8	352	Medidor 1	Manguera	8	0,405	1	37	35	1	2369,7
E.9	94	Medidor 1	Riego automático	2	0,090		29	2	5	783,9
F.3	284	Medidor 1	Riego automático	2	0,090		37	38	3	609,7
F.4	93,5	Medidor 1	Manguera	9	0,582		12	1	1	419,9
F.5	306	Medidor 1	Riego automático	3	0,090		30	47	5	831,2
F.6	467,5	Medidor 1	Manguera	9	0,582	1	26	58	1	3039,2
Beaucheff 851	56	Medidor 9	Manguera	10	0,752		55	36	1	2509,7
Beaucheff 851	48	Medidor 9	Manguera	10	0,752		42	58	1	1939,5
Beaucheff 851	50	Medidor 9	Manguera	10	0,752		48	12	1	2175,7

## Anexo D: Laboratorio

### - Cálculo consumo destilador Laboratorio Calidad del agua

Para determinar el consumo del destilador se necesita:

- Flujo de entrada
- Tiempo de uso

A partir de la ficha técnica se obtiene el flujo de entrada: 1 l/min o lo que es equivalente 60 l/h

Según la entrevista a la encargada del laboratorio este destilador se utiliza 7 horas al día 4 días a la semana durante 11 meses del año.

$$\frac{7 \text{ horas}}{\text{día}} \times \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} = \frac{112 \text{ horas}}{\text{mes}}$$

Considerando 11 meses de uso, al año el destilador consume: 73,92 m<sup>3</sup>/año

$$\frac{112 \text{ horas}}{\text{mes}} \times \frac{11 \text{ mes}}{\text{año}} \times \frac{60 \text{ l}}{\text{horas}} = 73920 \frac{\text{l}}{\text{año}} = 73,92 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

### - Cálculo consumo destilador B851 6to

Este destilador es el mismo del laboratorio de calidad del agua por lo que se utiliza el mismo flujo de entrada.

Según la entrevista con la encargada de este laboratorio este destilador se utiliza 30 horas a la semana durante 11 meses del año

$$\frac{30 \text{ horas}}{\text{semanas}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} = \frac{120 \text{ horas}}{\text{mes}}$$

Considerando 11 meses de uso, al año el destilador consume: 79,2 m<sup>3</sup>/año

$$\frac{120 \text{ horas}}{\text{mes}} \times \frac{11 \text{ mes}}{\text{año}} \times \frac{60 \text{ l}}{\text{horas}} = 79200 \frac{\text{l}}{\text{año}} = 79,2 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

- Cálculo consumo maquina nitrógeno líquido

Para el cálculo de la máquina de nitrógeno líquido se necesita:

- Flujo de alimentación
- Tiempo de uso

El flujo de alimentación de agua para refrigeración se midió y calculó en 1L/167s

Según la entrevista con el encargado de operar esta máquina de nitrógeno líquido, se utiliza 14 días/mes de forma continua en un periodo de 10 meses por año

Considerando esta información se estima que la máquina de nitrógeno líquido consume: 72,43 m<sup>3</sup>/año

$$\frac{1L}{167segundos} \times \frac{14días}{mes} \times \frac{24horas}{día} \times \frac{60minutos}{hora} \times \frac{60segundos}{hora} \times \frac{10meses}{año} = \frac{72431l}{año} = 72,43 \frac{m^3}{año}$$

Con esta información y la línea base de laboratorios de la OIS se estimó el consumo de agua de los laboratorios en la facultad.

## Anexo E: Piscina

Reglamento de llenado de piscina:

- El volumen de la piscina es de 437 m<sup>3</sup>.
- Durante el año se le debe agregar este mismo volumen.
- Es decir, mes a mes se le debe agregar el volumen tal que a fin de año se le agregaron 437 m<sup>3</sup>.

Se asumió que cada mes se le agregaron 39,73 m<sup>3</sup>.

Meses de uso Piscina Beaucheff 851 año 2022

*Tabla E - 1: Meses de uso de Piscina Beaucheff 851 año 2022*

Meses de funcionamiento durante el 2022											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓

## Anexo F: Análisis de sensibilidad

En este anexo se muestra un detalle de cómo cambia el uso de agua para cada actividad en función del cambio en el parámetro.

Para la comparación se muestra el error mensual en la siguiente Tabla F - 1: "Diferencia estimación vs boletas"

Tabla F - 1: Diferencia estimación vs boletas

Referencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	7956,3	2846,0	4181,7	4308,3	4402,8	3953,5	2814,2	4356,9	3788,4	4118,6	4030,3	3521,0	50278,0
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2209,7	4715,0	2057,3	130,7	848,8	441,5	590,8	886,9	42,4	292,4	1531,7	946,0	10254,0
% de error	22%	62%	33%	3%	24%	13%	17%	26%	1%	7%	28%	21%	17%

Se calcula el RMSE, RRMSE y Error absoluto medio de referencia, se muestra a continuación en la Tabla F - 2: "Índices de error en la estimación referencia"

Tabla F - 2: Índices de error en la estimación referencia

Índices de error de referencia		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
35%	1.750	1224,4

- Variación del tiempo de residencia de la población flotante:

El consumo de agua mensual al variar el tiempo de residencia a 5 horas se muestra en la siguiente Tabla F - 3: "Variación de consumo aumentando a 5 horas tiempo de residencia"

Tabla F - 3: Variación de consumo aumentando a 5 horas tiempo de residencia

Aumento a 5 horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	8125,7	2863,0	4334,9	4477,8	4588,4	4122,9	2983,7	4542,5	3925,5	4263,8	4175,5	3682,4	52086,0
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2040,3	4698,0	1904,1	38,8	1034,4	610,9	421,3	1072,5	179,5	147,2	1386,5	784,6	8446,0
% de error	20%	62%	31%	1%	29%	17%	12%	31%	5%	3%	25%	18%	14%

Los indicadores de error se muestran en la Tabla F - 4: "Índices de error aumentando a 5 horas tiempo de residencia"

Tabla F - 4: Índices de error aumentando a 5 horas tiempo de residencia

Índices de error aumentando a 5 horas tiempo de residencia		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
34%	1713	1193,2

El consumo de agua mensual al variar el tiempo de residencia a 3 horas se muestra en la siguiente Tabla F - 5: "Variación de consumo disminuyendo a 3 horas tiempo de residencia"

Tabla F - 5: Variación de consumo disminuyendo a 3 horas tiempo de residencia

Disminución a 3 horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	7786,8	2829,1	4028,4	4138,9	4217,3	3784,1	2644,8	4171,4	3651,2	3973,4	3885,0	3359,6	48470,0
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2379,2	4731,9	2210,6	300,1	663,3	272,1	760,2	701,4	94,8	437,6	1677,0	1107,4	12062,0
% de error	23%	63%	35%	7%	19%	8%	22%	20%	3%	10%	30%	25%	20%

Los indicadores de error se muestran en la Tabla F - 6: "Índices de error disminuyendo a 3 horas tiempo de residencia"

Tabla F - 6: Índices de error disminuyendo a 3 horas tiempo de residencia

Índices de error disminuyendo a 3 horas tiempo de residencia		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
36%	1799	1277,9

- Variación del tiempo de riego:

El consumo de agua mensual al aumentar el tiempo de riego en un 10% muestra en la siguiente Tabla F - 7: "Variación de consumo aumentando un 10% el tiempo de riego"

Tabla F - 7: Variación de consumo aumentando un 10% el tiempo de riego

+ 10% tiempo riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	8032,0	2918,8	4460,6	4548,7	4623,2	4158,4	2861,5	4526,5	4001,1	4361,9	4260,1	3652,4	52405,2
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2134,0	4642,2	1778,4	109,7	1069,2	646,4	543,5	1056,5	255,1	49,1	1301,9	814,6	8126,8
% de error	21%	61%	29%	2%	30%	18%	16%	30%	7%	1%	23%	18%	13%

Los indicadores de error se muestran en la Tabla F - 8: "Índices de error aumentando un 10% el tiempo de riego"

Tabla F - 8: Índices de error aumentando un 10% el tiempo de riego

Índices de error aumentando un 10% el tiempo de riego		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
34%	1700	1200

El consumo de agua mensual al disminuir el tiempo de riego en un 10% muestra en la siguiente Tabla F - 9: "Variación de consumo disminuyendo un 10% el tiempo de riego"

Tabla F - 9: Variación de consumo disminuyendo un 10% el tiempo de riego

-10% tiempo de riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	7880,5	2773,3	3917,3	4077,2	4190,3	3757,7	2768,2	4195,6	3583,2	3884,4	3808,8	3393,3	48229,7
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2285,5	4787,7	2321,7	361,8	636,3	245,7	636,8	725,6	162,8	526,6	1753,2	1073,7	12302,3
% de error	22%	63%	37%	8%	18%	7%	19%	21%	4%	12%	32%	24%	20%

Los indicadores de error se muestran en la Tabla F - 10: "Índices de error disminuyendo un 10% el tiempo de riego"

Tabla F - 10: Índices de error disminuyendo un 10% el tiempo de riego

Índices de error disminuyendo un 10% el tiempo de riego		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
36%	1816	1293,1

- Variación del flujo de artefactos:

El consumo de agua mensual al aumentar el flujo de artefactos en un 10% muestra en la siguiente Tabla F - 11: "Variación de consumo aumentando un 10% el flujo de artefactos"

Tabla F - 11: Variación de consumo aumentando un 10% el flujo de artefactos

+10% flujo artefactos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	8124,8	2862,9	4451,1	4606,1	4695,5	4246,1	2999,0	4642,1	4023,0	4380,1	4279,9	3719,5	53030,2
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2041,2	4698,1	1787,9	167,1	1141,5	734,1	406,0	1172,1	277,0	30,9	1282,1	747,5	7501,8
% de error	20%	62%	29%	4%	32%	21%	12%	34%	7%	1%	23%	17%	12%

Los indicadores de error se muestran en la Tabla F - 12: "Índices de error aumentando un 10% el flujo de artefactos"

Tabla F - 12: Índices de error aumentando un 10% el flujo de artefactos

Índices de error aumentando un 10% el flujo de artefactos		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
34%	1711	1207,1

El consumo de agua mensual al disminuir el flujo de artefactos en un 10% muestra en la siguiente Tabla F - 13: "Variación de consumo disminuyendo un 10% el flujo de artefactos"

Tabla F - 13: Variación de consumo disminuyendo un 10% el flujo de artefactos

-10% flujo artefactos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Estimación	7787,7	2829,2	3912,2	4010,5	4110,2	3660,8	2629,5	4071,8	3553,7	3857,1	3780,6	3322,4	47525,8
Boletas	10166,0	7561,0	6239,0	4439,0	3554,0	3512,0	3405,0	3470,0	3746,0	4411,0	5562,0	4467,0	60532,0
Variación	2378,3	4731,8	2326,8	428,5	556,2	148,8	775,5	601,8	192,3	553,9	1781,4	1144,6	13006,2
% de error	23%	63%	37%	10%	16%	4%	23%	17%	5%	13%	32%	26%	21%

Los indicadores de error se muestran en la Tabla F - 14: "Índices de error disminuyendo un 10% el flujo de artefactos"

Tabla F - 14: Índices de error disminuyendo un 10% el flujo de artefactos

Índices de error disminuyendo un 10% el flujo de artefactos		
RRMSE	RMSE	Error absoluto medio
36%	1820	1301,6

## Anexo G: Nuevos estándares

A continuación, se muestra la información recopilada de los distintos artefactos sanitarios disponibles en el mercado y para definir un nuevo estándar de uso.

Para la grifería se encuentran las siguientes opciones en el mercado, presentes en la Tabla G - 1: "Estándar Grifería":

Tabla G - 1: Estándar Grifería

Estándar Grifería						
Dispositivo	Características			Comentarios	Costo	Proveedor
	Flujo ideal	Flujo	Unidad			
Grifería electrónica	Flujos de bajo consumo < 7,5	4,7 - 7	l/min	Implica una inversión en baterías o instalación eléctrica para el funcionamiento	\$154.409	WASSER / CHC
		8			\$231.229	AVALCO
		8			\$74.927	NIBSA
Grifería temporizada	< 9	6	l/min	Implica una mantención constante para el mejor funcionamiento	\$45.475	WASSER / CHC
		4,0 - 9,0			\$29.990	STRETTO
		6			\$64.620	MK
Grifería monomando	< 9	7,5 - 9	l/min	Implica un buen uso de los usuarios para que no quede el agua corriendo	\$33.376	NIBSA
		4,0 - 9,0			\$40.135	STRETTO
		6			\$19.990	MK
Grifería cuello cisne	< 9	1,3 - 5,7	l/min	Importante que haya uno en los baños para que se utilice para rellenar botellas y el resto de los grifos no se descuiden.	\$26.990	WASSER /CHC
		4,0 - 9,0			\$69.990	STRETTO
		7,5 - 9,0			\$53.675	NIBSA
					\$56.556	

Para los urinarios se encuentran las siguientes opciones en el mercado, presentes en la Tabla G -2:  
 “Estándar Urinarios”:

Tabla G - 2: Estándar Urinarios

Estándar Duchas						
Dispositivo	Características			Comentarios	Costo	Proveedor
	Flujo actual	Flujo	Unidad			
Urinario	4	0,4	l/descarga	Incluye todos los componentes para la instalación	\$187.718	WASSER /CHC
		0,5 - 1,9			\$124.540	MK
		0,5			\$72.578	HOME&BATH
Fluxor	4	0,2 - 1	l/descarga	Se instala al urinario y hace la función de descarga	\$63.676	WASSER /CHC
		0,4 - 1			\$32.990	STRETTO
		2			183.180	MK

Para las duchas se encuentran las siguientes opciones en el mercado, presentes en la Tabla G - 3:  
 “Estándar Duchas”:

Tabla G - 3: Estándar Duchas

Estándar Duchas						
Dispositivo	Características			Comentarios	Costo	Proveedor
	Flujo actual	Flujo	Unidad			
Columna de ducha	9.5	7	l/min	Instalación en muro	\$330.950 \$487.270	MK
Ducha fija	9.5	8	l/min	No incluye Mezclador y válvula	\$88.700	MK
		6,8 - 7,6			\$85.900	HANSGROHE
Cabezal de ducha	9.5	8	l/min	Cabezal de ducha para instalar en una columna o manguera de salida de un muro	\$11.990	IKEA
		<9			\$29.990	STRETTO

Para los inodoros se encuentran las siguientes opciones en el mercado, presentes en la Tabla G - 4:  
 “Estándar Inodoros”:

Tabla G - 4: Estándar Inodoros

Estándar Inodoro						
Dispositivo	Características			Comentarios	Costo	Proveedor
	Flujo actual	Flujo	Unidad			
Inodoro	4,5 - 6	1,5 - 2,9	litros por descarga	Incluye todos los componentes para la instalación	\$166.186	CHC
		3,5 - 4,8			\$170.000	MK
		3,5 - 4,8			\$147.990	STRETTO
Fluxómetro para WC	4,5 - 6	4,8	litros por descarga	Sistema empotrado	\$45.475	HOME%BATH
		4,8			\$29.990	CHC
		3 - 4,5			\$64.620	MK
Otras opciones	4,5 - 6	3,4 - 4,8	litros por descarga	Estanque para inodoro	\$64.990	STRETTO
		-		Válvula admisión anti-fuga	\$12.990	STRETTO

## Anexo H: Riego

En este anexo se muestra una caracterización de las áreas verdes de la facultad, se sectorizan las áreas verdes y se describe el área que utilizan, el tipo de riego instalado y cómo es su composición mayoritaria, tipo cubierta vegetal o bien tipo jardinera.

La siguiente Tabla H - 1: "Descripción de las áreas verdes por sector" Describe como están compuestas las distintas zonas.

*Tabla H - 1: Descripción de las áreas verdes por sector*

Sector	Áreas verdes [m <sup>2</sup> ]	Tipo de riego	Composición principal
A.1	238	240	Cubierta Vegetal
A.2	136	1781,2	Cubierta Vegetal
A.3	138	423,2	Cubierta Vegetal
B.1	68	577,5	Cubierta Vegetal
B.2	106	900,2	Cubierta Vegetal
B.3	100	428,5	Cubierta Vegetal
B.4	82	696,4	Jardinera
B.5	121	582,4	Jardinera
C.1	121	717	Jardinera
C.2	95	562,9	Cubierta Vegetal
C.3	25	48	Cubierta Vegetal
C.4	139	480,4	Jardinera
D.1	95	246,3	Jardinera
D.2	112	290,4	Cubierta Vegetal
D.3	76	197	Jardinera
D.4	136	352,6	Cubierta Vegetal
D.5	79	204,8	Jardinera
D.6	74	191,9	Jardinera
D.7	21	54,4	Jardinera
D.8	61	158,1	Jardinera
E.1	84	715,4	Cubierta Vegetal
E.2	74	1178,1	Cubierta Vegetal
E.3	74	1178,1	Jardinera
E.4	36	573,1	Jardinera
E.5	69	1098,5	Cubierta Vegetal
E.6	85	572,2	Cubierta Vegetal
E.7	94	632,8	Jardinera
E.8	173	1164,7	Jardinera
E.9	94	783,9	Jardinera
F.1	200	820,8	Jardinera
F.2	230	943,9	Jardinera
F.3	284	609,7	Cubierta Vegetal
F.4	93,5	419,9	Jardinera
F.5	306	831,2	Cubierta Vegetal
F.6	467,5	3039,2	Jardinera

La Figura H - 1: Sectorización áreas verdes Beaucheff 850" muestra los sectores a los que se refiere la Tabla H -1



Figura H - 1: Sectorización áreas verdes Beaucheff 850

## Anexo I: Xeripaisajismo

Para calcular el ahorro de agua relacionado con el xeripaisajismo se utilizaron dos supuestos:

- Al pasar de manguera a goteo se reduce un 50% el uso de agua
- Al pasar de otros tipos de riego a se reduce un 40% el uso de agua

Con estos supuestos se construye la Tabla I - 1: "Potencial de reducción xeripaisajismo"

Tabla I - 1: Potencial de reducción xeripaisajismo

Sector	Áreas verdes [m <sup>2</sup> ]	Línea Base		Xeripaisajismo		Implementación
		Litros de agua al día	Tipo de riego	Litros de agua	Tipo de riego	
A.1	238	240	Aspersor	144	-	N/A
A.2	136	1781,2	Riego automático / Aspersor	1068,7	-	N/A
A.3	138	423,2	Manguera	211,6	-	N/A
B.1	68	577,5	Manguera	288,7	-	N/A
B.2	106	900,2	Manguera	450,1	-	N/A
B.3	100	428,5	Manguera	214,3	-	N/A
B.4	82	696,4	Manguera	348,2	Goteo	SE IMPLEMENTA
B.5	121	582,4	Manguera	291,2	Goteo	SE IMPLEMENTA
C.1	121	717	Manguera	358,5	Goteo	SE IMPLEMENTA
C.2	95	562,9	Manguera	281,5	-	N/A
C.3	25	48	Aspersor	28,8	-	N/A
C.4	139	480,4	Manguera	240,2	Goteo	SE IMPLEMENTA
D.1	95	246,3	Manguera	123,1	Goteo	SE IMPLEMENTA
D.2	112	290,4	Manguera	145,2	-	N/A
D.3	76	197	Manguera	98,5	Goteo	SE IMPLEMENTA
D.4	136	352,6	Manguera	176,3	-	N/A
D.5	79	204,8	Manguera	102,4	Goteo	SE IMPLEMENTA
D.6	74	191,9	Manguera	95,9	Goteo	SE IMPLEMENTA
D.7	21	54,4	Manguera	27,2	Goteo	SE IMPLEMENTA
D.8	61	158,1	Manguera	79,1	Goteo	SE IMPLEMENTA
E.1	84	715,4	Aspersor	429,2	-	N/A
E.2	74	1178,1	Manguera	589	-	N/A
E.3	74	1178,1	Manguera	589	Goteo	SE IMPLEMENTA
E.4	36	573,1	Manguera	286,6	Goteo	SE IMPLEMENTA
E.5	69	1098,5	Manguera	549,2	-	N/A
E.6	85	572,2	Manguera	286,1	-	N/A
E.7	94	632,8	Riego automático	379,7	Goteo	SE IMPLEMENTA
E.8	173	1164,7	Manguera	582,3	Goteo	SE IMPLEMENTA
E.9	94	783,9	Riego automático	470,3	Goteo	SE IMPLEMENTA
F.1	200	820,8	Manguera	410,4	Goteo	SE IMPLEMENTA
F.2	230	943,9	Manguera	472	Goteo	SE IMPLEMENTA
F.3	284	609,7	Riego automático	365,8	-	N/A
F.4	93,5	419,9	Manguera	210	Goteo	SE IMPLEMENTA
F.5	306	831,2	Riego automático	498,7	-	N/A
F.6	467,5	3039,2	Manguera	1519,6	Goteo	SE IMPLEMENTA