UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación del Consumo de Agua Potable de los Edificios de la Universidad del Azuay que permita la Optimización de su Uso y Gestión Sostenible

Título a obtener:

INGENIERO CIVIL

Autores:

FRANCISCO JAVIER DIAZ SEGARRA

JOAQUÍN SEBASTIÁN MONTESDEOCA BARRIGA

Director:

JOSUÉ LARRIVA VÁSQUEZ

CUENCA – ECUADOR

2026

Dedicatoria

A papá y mamá, por siempre estar.

Francisco

Dedicatoria

A papá y mamá, por todo su apoyo.

Al Hollow Knight por ayudarme a ser mejor persona.

Joaquín

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento al Ing. Josué Larriva, por su guía, paciencia y compromiso durante el desarrollo de este trabajo. Su orientación académica y su apoyo constante fueron fundamentales para culminar satisfactoriamente esta investigación.

Asimismo, agradecemos al Ing. Mario Cabrera, por su constante disposición y apoyo durante este proceso. Su colaboración y atención para facilitarnos los datos necesarios fueron de gran importancia para el desarrollo adecuado de esta tesis.

De igual manera, agradecemos a la Universidad del Azuay, por habernos brindado la formación académica, los conocimientos y las herramientas necesarias para nuestro crecimiento profesional y personal. A lo largo de estos años, esta institución ha sido un espacio de aprendizaje, esfuerzo y superación, en el que hemos construido las bases para nuestro futuro ejercicio profesional.

Finalmente, agradecemos a nuestros amigos, quienes nos acompañaron durante toda la carrera, compartiendo momentos de alegría, esfuerzo, preocupación y aprendizaje. Su apoyo, compañía y amistad hicieron que este camino universitario fuera más llevadero y significativo, dejando recuerdos que siempre llevaremos con cariño.

Resumen

El presente trabajo evalúa el consumo de agua potable en los edificios de la Universidad del Azuay, con el propósito de identificar patrones de uso, detectar consumos excesivos y generar insumos técnicos para la optimización y gestión sostenible del recurso hídrico en el campus. Se adoptó un enfoque cuantitativo de carácter descriptivo, basado en la recopilación de datos provenientes de tres fuentes complementarias: medidores convencionales administrados por ETAPA EP, caudalímetros inteligentes instalados en edificios estratégicos del campus, y facturas de consumo histórico. Los datos fueron procesados mediante análisis estadístico descriptivo y representaciones gráficas que permitieron caracterizar el comportamiento horario, diario y mensual del consumo en cada unidad académica monitoreada. Los resultados evidencian variaciones significativas entre facultades, con consumos diferenciados en días hábiles y fines de semana, así como picos de demanda en franjas horarias específicas. Estos hallazgos constituyen la base para el diseño de estrategias de eficiencia hídrica adaptadas a las características operativas de cada dependencia universitaria, contribuyendo a los compromisos institucionales de sostenibilidad ambiental de la Universidad del Azuay.

Palabras clave: agua potable, consumo hídrico, universidad sostenible, medición inteligente, balance hídrico

Abstract

This research evaluates potable water consumption in the buildings of the Universidad del Azuay, with the aim of identifying usage patterns, detect excessive consumption, and generating technical inputs for the optimization and sustainable management of water resources on campus. The study adopted a quantitative descriptive approach, based on data collected from three complementary sources: conventional meters managed by ETAPA EP, smart flow meters installed in strategic campus buildings, and historical consumption invoices. Data were processed using descriptive statistical analysis and graphical representations that allowed characterizing the hourly, daily, and monthly consumption behavior in each monitored academic unit. Results reveal significant variations among faculties, with differentiated consumption patterns on weekdays and weekends, as well as demand peaks during specific time intervals. These findings provide the basis for designing water efficiency strategies tailored to the operational characteristics of each university department, contributing to the environmental sustainability commitments of the Universidad del Azuay.

Key words: potable water, water consumption, sustainable university, smart metering, water balance

Índice General

Dedicatoria ii
Agradecimientos iv
Resumen v
Abstract vi
Introducción 1
Planteamiento del Problema 2
Justificación 4
Marco Teórico 6
Fundamentos Conceptuales de la Gestión Hídrica Sostenible 6
Sistemas Presurizados de Distribución de Agua Potable 6
Balance Hídrico y Agua No Contabilizada (Metodología IWA) 6
Macro medición, Micro medición y Sectorización de Redes 7
Medición Inteligente, Telemetría y Análisis de Patrones 7
Tecnologías de Medición de Caudal 7
Marco Normativo Aplicable 7
Antecedentes de Estudios Similares 8
Objetivo General 8
Objetivos Específicos 8
Metodología 9
1 Recopilación de Datos sobre los Consumos de Agua Potable 10
1.1 Métodos de Medición de Volumen de Agua Potable en Sistemas Presurizados 10
1.1.1 *Introducción* 10
1.1.2 *Principios de Medición y Clasificación de Medidores de Agua* 10
1.1.3 *Medidores de Desplazamiento Positivo (Volumétricos)* 10
1.1.4 *Medidores Velocimétricos (Turbina y Multichorro)* 11
1.1.5 *Medidores Ultrasónicos* 11
1.1.6 *Medición Inteligente y Telemetría* 11
1.1.7 *Marco Metrológico Aplicable a la Medición de Volumen* 12
1.2 Recopilación de Datos 12
1.2.1 *Datos de Medidores Convencionales (ETAPA EP y Medidores Internos)* 13
1.2.2 *Datos de Caudalímetros Inteligentes* 17
1.2.3 *Datos de Facturas* 22

1.3 Tabulación de Datos 22
2 Análisis de Resultados 25
2.1 Análisis y Comparación de Datos de Medidores Principales 25
2.1.1 *Volumen total acumulado* 25
2.1.2 *Volumen parcial semanal* 26
2.1.3 *Promedio diario* 27
2.1.4 *Síntesis de los registros mensuales* 27
2.2 Análisis Horario de Caudalímetros Inteligentes 28
2.2.1 *Volumen Diario por Caudalímetro* 28
2.2.2 *Volumen Horario por Caudalímetro* 36
3 Discusión de Resultados 66
3.1 Patrones de Consumo Horario 66
3.2 Variación entre Días Hábiles y Periodos No Lectivos 67
3.3 Análisis Diferenciado por Edificio o Sector 68
3.3.1 *Facultad de Diseño* 68
3.3.2 *Facultad de Administración* 68
3.3.3 *Edificio del Vicerrectorado* 69
3.3.4 *Facultad de Filosofía* 69
3.3.5 *Edificio de UDA Salud* 69
3.3.6 *Edificio de Ciencias y Tecnología (CC.TT)* 70
3.4 Comparación del Consumo de 2025 con Años Anteriores 70
3.5 Implicaciones para la Gestión Sostenible del Recurso Hídrico 71
4 Conclusiones 72
5 Recomendaciones 74
Referencias 75
Anexos 79

Índice de tablas

Tabla 1. Medidores principales administrados por ETAPA EP.....14
Tabla 2. Medidores internos instalados en los edificios de la Universidad del Azuay 15
Tabla 3. Características técnicas del caudalímetro inteligente Wi-Fi DN20 18
Tabla 4. Caudalímetros inteligentes instalados en la Universidad del Azuay 21
Tabla 5. Síntesis mensual del consumo de agua potable por medidor principal (abril–agosto 2025) 27
Tabla 6. Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, Semana 1 38
Tabla 7. Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, Semana 2 40
Tabla 8. Consumo en fines de semana — Facultad de Diseño 41
Tabla 9. Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, Semana 1 .43
Tabla 10. Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, Semana 244
Tabla 11. Consumo en fines de semana — Facultad de Administración 45
Tabla 12. Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, Semana 1 48
Tabla 13. Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, Semana 2 49
Tabla 14. Consumo en fines de semana — Vicerrectorado 50
Tabla 15. Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, Semana 1 53
Tabla 16. Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, Semana 2 54
Tabla 17. Consumo en fines de semana — Facultad de Filosofía.....56
Tabla 18. Distribución horaria del consumo — UDA Salud, Semana 1.....58
Tabla 19. Distribución horaria del consumo — UDA Salud, Semana 2.....60
Tabla 20. Consumo en fines de semana — UDA Salud.....61
Tabla 21. Distribución horaria del consumo — CC.TT, Semana 1 63
Tabla 22. Distribución horaria del consumo — CC.TT, Semana 2 64
Tabla 23. Consumo en fines de semana — CC.TT.....66

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de los macro medidores de ETAPA EP en el campus de la Universidad del Azuay 14

Figura 2. Ubicación de los edificios con submedidores internos 17

Figura 3. Consumos mensuales de agua potable del campus central — Medidor Principal (código ETAPA A0055447) 23

Figura 4. Consumos mensuales de agua potable del campus central — Medidor Secundario (código ETAPA A0055448) 23

Figura 5. Consumos mensuales de agua potable del campus de Ciencia y Tecnología — Medidor Principal (código ETAPA A0156883) 24

Figura 6. Volumen diario de agua potable — Facultad de Diseño, marzo 2026 30

Figura 7. Volumen diario de agua potable — Facultad de Administración, marzo 202631

Figura 8. Volumen diario de agua potable — UDA Salud, marzo 2026 32

Figura 9. Volumen diario de agua potable — Facultad de Filosofía, marzo 2026 33

Figura 10. Volumen diario de agua potable — Vicerrectorado, marzo 2026 34

Figura 11. Volumen diario de agua potable — CC.TT, marzo 2026 35

Figura 12. Perfil de consumo horario — Facultad de Diseño (vista general, dos semanas) 37

Figura 13. Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, días hábiles semana 1 38

Figura 14. Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, días hábiles semana 2 39

Figura 15. Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, fines de semana .. 40

Figura 16. Perfil de consumo horario — Facultad de Administración (vista general).... 42

Figura 17. Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, días hábiles semana 1 43

Figura 18. Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, días hábiles semana 2 44

Figura 19. Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, fines de semana 45

Figura 20. Perfil de consumo horario — Vicerrectorado (vista general) 47

Figura 21. Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, días hábiles semana 1 48

Figura 22. Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, días hábiles semana 2 49

Figura 23. Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, fines de semana 50

Figura 24. Perfil de consumo horario — Facultad de Filosofía (vista general) 52

Figura 25. Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, días hábiles semana 1 53

Figura 26. Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, días hábiles semana 2 54

Figura 27. Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, fines de semana 55

Figura 28. Perfil de consumo horario — UDA Salud (vista general) 57

Figura 29. Distribución horaria del consumo — UDA Salud, días hábiles semana 1 58

Figura 30. Distribución horaria del consumo — UDA Salud, días hábiles semana 2 59

Figura 31. Distribución horaria del consumo — UDA Salud, fines de semana 60

Figura 32. Perfil de consumo horario — CC.TT (vista general) 62

Figura 33. Distribución horaria del consumo — CC.TT, días hábiles semana 1 63

Figura 34. Distribución horaria del consumo — CC.TT, días hábiles semana 2 64

Figura 35. Distribución horaria del consumo — CC.TT, fines de semana 65

Introducción

El agua constituye un recurso estratégico para el desarrollo sostenible de la humanidad. A pesar de que más del 70 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, menos del 1 % se encuentra disponible como agua dulce accesible para consumo humano, lo que convierte su gestión eficiente en un desafío prioritario a escala global (Naciones Unidas, 2023). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, aproximadamente 2 200 millones de personas en el mundo carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura, situación que motivó la incorporación del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) dentro de la Agenda 2030, el cual promueve la disponibilidad, gestión sostenible y uso eficiente del recurso hídrico (Naciones Unidas, 2015).

En el ámbito latinoamericano, la eficiencia en la gestión del agua potable enfrenta limitaciones importantes, principalmente asociadas a pérdidas en las redes de distribución. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe estima que el índice de agua no contabilizada (IANC) en la región oscila entre el 40 % y el 60 % del volumen producido, valor que supera ampliamente los parámetros recomendados a escala internacional (CEPAL, 2019; Liemberger & Wyatt, 2018). El Ecuador no es ajeno a esta problemática: de acuerdo con información publicada por la propia Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP), el IANC promedio nacional se ubica alrededor del 65 %, mientras que Cuenca, donde ETAPA EP abastece al 93 % de los habitantes del cantón, presenta uno de los indicadores más bajos del país, en torno al 29 %–38 %, cifra que aún representa pérdidas económicas del orden de los USD 2 millones anuales (ETAPA EP, s. f.; BID & ETAPA EP, 2025).

Dentro de este panorama, las instituciones de educación superior desempeñan un rol protagónico, tanto por los volúmenes de consumo asociados a su operación diaria como por su capacidad de actuar como laboratorios vivos de sostenibilidad y espacios de formación profesional. La Universidad del Azuay ha manifestado un firme compromiso con la sostenibilidad ambiental, buscando consolidarse como una institución autosostenible en los ámbitos energético y ambiental, en concordancia con los lineamientos de los ODS y con sus propias iniciativas institucionales (Universidad del Azuay, 2023). Experiencias previas en universidades ecuatorianas como el análisis de la huella hídrica realizado en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca mediante redes de telemetría (Guamán & Illares, 2019) o en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Chafla Martínez et al., 2021)

han demostrado la viabilidad técnica y el valor académico de abordar la gestión hídrica a escala de campus.

En este contexto, el presente trabajo evalúa el consumo de agua potable en los edificios de la Universidad del Azuay a partir de la integración de datos de macro medición (facturación y medidores de ETAPA EP), micro medición (submedidores internos en edificaciones) y medición inteligente (caudalímetros con telemetría Wi-Fi instalados como parte del proyecto), con el fin de identificar patrones de consumo reales, detectar posibles pérdidas y proponer alternativas técnicas de gestión sostenible del recurso hídrico.

Planteamiento del Problema

A pesar de los avances en materia de cobertura de agua potable en el Ecuador, la gestión eficiente del recurso al interior de las edificaciones continúa siendo un reto pendiente. Los indicadores nacionales evidencian que una porción significativa del agua producida no se traduce en consumo efectivamente facturado: mientras el promedio nacional del IANC asciende al 65 % (ETAPA EP, s. f.), incluso en sistemas reconocidos por su eficiencia como el de Cuenca las pérdidas se mantienen en valores cercanos al 30 %–38 %, con proyecciones de reducción graduales condicionadas a inversiones en infraestructura y tecnología de medición (BID & ETAPA EP, 2025). Estas cifras reflejan que, aun en instituciones localizadas en territorios con buen desempeño sectorial, existe una brecha entre el agua que efectivamente se consume y la que se registra en los puntos de medición tradicionales.

En el caso específico de la Universidad del Azuay, el consumo de agua potable resulta considerable debido a la densidad de usuarios que transitan diariamente por el campus como: estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes y a la diversidad de actividades que se desarrollan en sus edificaciones, incluyendo laboratorios, talleres, auditorios, servicios sanitarios, áreas deportivas y zonas verdes. Los registros históricos de facturación emitidos por ETAPA EP muestran volúmenes mensuales significativos (véase Tabla 5 y Sección 3.1), cuyo orden de magnitud es consistente con el reportado para otros campus universitarios latinoamericanos: la Universidad Nacional Autónoma de México, por ejemplo, registra un consumo diario cercano a 7 000 m^3 en su Ciudad Universitaria para una población de aproximadamente 165 000 usuarios (PUMAGUA, 2017), mientras que estudios realizados en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador estiman una huella hídrica per cápita de 861,5 m^3/año (Chafla Martínez et al., 2021). En el caso de la Universidad del Azuay, los registros históricos de facturación de ETAPA EP analizados en el presente estudio revelan consumos

mensuales en el campus central (medidor A0055447) que oscilan entre 165 m³ en períodos vacacionales y 845 m³ en meses lectivos de alta demanda, con promedios diarios de entre 8,38 m³/día en agosto y 28,18 m³/día en abril. Estos valores posicionan a la institución en un rango de escala media-baja respecto a las referencias latinoamericanas citadas, lo que resulta coherente con el tamaño del campus, pero no exime la necesidad de un diagnóstico desagregado por edificio para identificar ineficiencias internas. No obstante, las cifras facturadas no siempre reflejan con precisión los volúmenes reales de gasto, generando una discrepancia entre el consumo aparente y el consumo efectivo.

Esta discrepancia obedece a tres factores principales que operan de manera simultánea. En primer lugar, la ubicación geográfica del campus, emplazado en un sector con características geológicas particulares asociados a una falla, somete a las tuberías a esfuerzos adicionales que incrementan la probabilidad de rupturas y fugas no detectadas (Achache Carrillo & Gómez Monar, 2022). En segundo lugar, la antigüedad de parte de la red de distribución interna contribuye al deterioro progresivo de sus componentes hidráulicos, condición que la literatura internacional identifica como una de las causas recurrentes de pérdidas significativas en sistemas institucionales de similares características (Campaña Quisaguano & Ortega Quiñónez, 2016; Liemberger & Wyatt, 2018). En tercer lugar, el uso poco racional del recurso por parte de los usuarios introduce un componente comportamental que agrava la ineficiencia del sistema. La confluencia de estos tres factores: infraestructura expuesta a esfuerzos geológicos, red envejecida y hábitos de uso subóptimos, configura un escenario complejo en el que resulta difícil estimar con precisión los volúmenes reales consumidos, identificar las zonas críticas y distinguir entre pérdidas físicas y comerciales.

La magnitud potencial del problema puede estimarse por analogía con sistemas de abastecimiento comparables. En el ámbito latinoamericano, los estudios sobre redes de distribución envejecidas reportan niveles de agua no contabilizada que oscilan entre el 40 % y el 50 % del volumen producido, con una fracción significativa atribuible al subregistro de los micromedidores en operación más allá de su vida útil (Beato, 2001; González-Gómez et al., 2011). Este orden de magnitud es consistente con lo observado en el contexto ecuatoriano antes de la implementación de programas estructurados de reducción de pérdidas. El propio sistema de ETAPA EP, según sus reportes institucionales, partió de un IANC del 53 % en el año 2000 y lo redujo al 34 % en 2005 mediante la creación de una Unidad de Control de Agua No Contabilizada y la incorporación de tecnologías de macro medición y micro medición (ETAPA EP, s. f.). En el campus de la Universidad del Azuay, aunque no existen aún valores

consolidados de IANC específicos, los antecedentes técnicos documentados por Achache Carrillo y Gómez Monar (2022) confirman la presencia de condiciones de riesgo que justifican la implementación de un esquema integrado de medición.

El monitoreo y control del recurso se convierten, en consecuencia, en tareas esenciales para la gestión institucional, debido a que sin información desagregada y confiable resulta imposible cuantificar las pérdidas, priorizar intervenciones, evaluar el impacto de medidas correctivas y rendir cuentas sobre los compromisos ambientales asumidos por la Universidad. La disponibilidad de series temporales de alta resolución permite, además, identificar patrones de consumo base, consumos nocturnos anómalos y eventos puntuales compatibles con fugas (Zapata-Sierra et al., 2024), información que los medidores tradicionales con lectura mensual no pueden proporcionar.

En este contexto, la Universidad del Azuay no dispone actualmente de un diagnóstico integrado que combine los datos de facturación de ETAPA EP, los submedidores internos por edificación y los caudalímetros inteligentes instalados recientemente. Esta carencia constituye el problema central que aborda el presente estudio: la necesidad de caracterizar técnicamente el consumo real de agua potable por sectores del campus, identificar las áreas críticas y sentar las bases para intervenciones de optimización basadas en evidencia.

Justificación

La realización del presente estudio se justifica por la convergencia de cinco dimensiones que confieren relevancia técnica, ambiental, económica, educativa e institucional al proyecto.

Desde la dimensión ambiental, la optimización del uso del agua potable contribuye directamente al cumplimiento del ODS 6 y a la reducción de la huella hídrica institucional de la Universidad del Azuay. Este aspecto resulta especialmente sensible en Cuenca, ciudad que enfrenta presiones crecientes sobre sus fuentes de abastecimiento producto del crecimiento urbano, la variabilidad climática y la degradación de las cuencas abastecedoras (CEPAL, 2019; GAD Municipal de Cuenca, 2023). En una región donde el consumo per cápita promedia 240 L/habitante/día, cada acción orientada a reducir consumos y pérdidas repercute positivamente sobre la disponibilidad del recurso para otros usos y usuarios del sistema.

Desde la dimensión económica, cada metro cúbico no contabilizado o consumido de manera ineficiente representa un costo directo para la institución. La reducción de pérdidas y

la optimización del consumo generan ahorros recurrentes que pueden ser reinvertidos en otras prioridades académicas. En el ámbito universitario, experiencias como la desarrollada por la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba han documentado reducciones cercanas al 50 % del consumo tras la instalación de dispositivos economizadores en núcleos sanitarios institucionales (UNCiencia, 2016). Estos antecedentes son coherentes con las investigaciones desarrolladas dentro de la propia Universidad del Azuay, donde la aplicación de sistemas presurizados y tecnologías de medición ha demostrado generar disminuciones significativas en el consumo de agua potable (López Cando & Murillo López, 2024), confirmando el retorno técnico y económico de este tipo de intervenciones en contextos similares al del presente estudio.

Desde la dimensión educativa, el campus universitario funciona como un laboratorio vivo en el que los resultados del estudio pueden incorporarse a la formación de los estudiantes, al proporcionar un caso real de aplicación de los conceptos de balance hídrico, sectorización, medición inteligente y eficiencia hidrosanitaria. Esta aproximación pedagógica está alineada con la tendencia internacional de utilizar los campus universitarios como espacios de experimentación en sostenibilidad (Guamán & Illares, 2019).

Desde la dimensión institucional, la Universidad del Azuay ha asumido el compromiso público de consolidarse como una institución autosostenible en los ámbitos energético y ambiental (Universidad del Azuay, 2023). La generación de información técnica robusta sobre el consumo de agua fortalece dicho compromiso y permite a la institución convertirse en un referente regional para otras universidades del sur del Ecuador, demostrando la viabilidad de los esquemas modernos de macro medición y micro medición (Fernández Morales & Duarte, 2012).

Finalmente, desde la dimensión técnica y de factibilidad, el proyecto se apoya en tres condiciones favorables: la disponibilidad de series históricas de facturación de ETAPA EP desde 2019, que permiten reconstruir el comportamiento del consumo a lo largo del tiempo; la reciente instalación de medidores internos en los edificios de Administración, Medicina y Ciencia y Tecnología; y la implementación de siete caudalímetros inteligentes con telemetría Wi-Fi distribuidos en puntos estratégicos del campus. Esta combinación de fuentes brinda la base empírica necesaria para realizar un análisis integrado, coherente con la metodología de balance hídrico adoptada por la Agencia de Regulación y Control del Agua del Ecuador (ARCA, 2022).

En conjunto, estas cinco dimensiones justifican que el presente proyecto aporte soluciones viables y sostenibles a una problemática de gran relevancia para la Universidad del Azuay, con potencial de escalar su aplicación práctica hacia un modelo institucional que sirva de ejemplo en la región, demostrando que es posible conciliar el crecimiento académico y administrativo con la conservación ambiental y la eficiencia en el uso de los recursos naturales.

Marco Teórico

Fundamentos Conceptuales de la Gestión Hídrica Sostenible

La gestión sostenible del agua se concibe como un proceso integral que busca conciliar la disponibilidad del recurso, la equidad en el acceso y la eficiencia en su uso. Bajo este enfoque, el agua es considerada simultáneamente un bien natural limitado, un servicio esencial y un factor clave para el desarrollo económico (CEPAL, 2019). La Agenda 2030, a través del ODS 6, establece explícitamente la necesidad de aumentar sustancialmente la eficiencia del uso del agua en todos los sectores y de reducir considerablemente el número de personas que sufren escasez hídrica (Naciones Unidas, 2015).

Sistemas Presurizados de Distribución de Agua Potable

En ingeniería hidrosanitaria, los sistemas presurizados son aquellos en los que el agua fluye por conducciones cerradas y completamente llenas, impulsada por la diferencia de presión entre los extremos de la conducción. En estos sistemas, el volumen consumido corresponde a la integral del caudal respecto del tiempo, por lo que todo dispositivo capaz de medir caudal puede, mediante totalización, proporcionar información volumétrica (ISO, 2014). El diseño y mantenimiento de redes presurizadas es fundamental para garantizar la continuidad del servicio, minimizar las pérdidas por fugas y preservar la calidad del agua distribuida.

Balance Hídrico y Agua No Contabilizada (Metodología IWA)

La International Water Association (IWA) desarrolló una metodología estandarizada para estructurar el balance hídrico de los sistemas de abastecimiento, la cual distingue entre consumos autorizados y pérdidas aparentes (comerciales) y reales (físicas) (Liemberger & Wyatt, 2018). El indicador agregado que resume el desempeño del sistema es el índice de agua no contabilizada (IANC), definido como la diferencia porcentual entre el volumen que ingresa al sistema y el volumen efectivamente facturado. En el Ecuador, la Agencia de Regulación y Control del Agua ha adoptado esta metodología como referencia regulatoria para la formulación del balance hídrico de los prestadores del servicio (ARCA, 2022).

Macro medición, Micro medición y Sectorización de Redes

Dentro del marco IWA, la medición constituye el pilar operativo del balance hídrico. La macro medición corresponde a la medición de caudales generales entregados a la red de distribución en puntos estratégicos (ETAPA EP, s. f.), mientras que la micro medición se refiere al registro de los consumos individuales en los puntos de uso o de entrega a los usuarios finales. La sectorización, por su parte, consiste en la subdivisión de la red en áreas más pequeñas con puntos de control definidos, lo cual facilita la detección de anomalías, la localización de fugas y el diseño de intervenciones focalizadas (Campaña Quisaguano & Ortega Quiñónez, 2016; Fernández Morales & Duarte, 2012).

Medición Inteligente, Telemetría y Análisis de Patrones

La medición inteligente introduce una capa tecnológica adicional a los esquemas tradicionales al incorporar capacidades de registro por intervalos, almacenamiento, comunicación inalámbrica y análisis automatizado. En los sistemas con infraestructura de lectura automática (AMR) o avanzada (AMI), la disponibilidad de series temporales horarias permite identificar patrones de consumo, consumos base nocturnos y eventos compatibles con fugas mediante el análisis de la persistencia del flujo en periodos de baja demanda (Cesaro, 2024; Zapata-Sierra et al., 2024). Esta capacidad resulta especialmente útil en instalaciones institucionales con operación intermitente, donde los consumos fuera del horario habitual son indicativos de pérdidas o usos indebidos.

Tecnologías de Medición de Caudal

Las tecnologías disponibles para la medición de caudal en sistemas presurizados incluyen medidores de desplazamiento positivo, medidores velocimétricos (turbina y multichorro), medidores electromagnéticos y medidores ultrasónicos (ISO, 2014; OIML, 2024). Cada principio presenta ventajas específicas en términos de rango de caudal, precisión, costo y requerimientos de instalación. Para aplicaciones domiciliarias e institucionales de mediana escala, los medidores velocimétricos con sensor de efecto Hall ofrecen una relación favorable entre costo y confiabilidad, y son compatibles con la integración de módulos electrónicos para telemetría (Miller, 1996; Omega Engineering Inc., 2020).

Marco Normativo Aplicable

En el ámbito internacional, la norma ISO 4064-1 establece los requisitos metrológicos y técnicos para los medidores de agua fría potable y agua caliente que fluyen por conducciones

cerradas completamente llenas, incluyendo medidores mecánicos, eléctricos, electrónicos y combinados (ISO, 2014). Esta norma se complementa con la Recomendación OIML R 49-1, que define requisitos metrológicos específicos, métodos de ensayo y formatos de reporte (OIML, 2024). En el ámbito nacional, la Norma Ecuatoriana de la Construcción — Instalaciones Hidrosanitarias (NEC-11, Capítulo 16) establece los lineamientos técnicos para el diseño y operación de sistemas hidrosanitarios en edificaciones (NEC, 2011). De manera complementaria, la guía regulatoria de la Agencia de Regulación y Control del Agua del Ecuador define los criterios para la formulación del balance hídrico a escala de prestador (ARCA, 2022).

Antecedentes de Estudios Similares

Diversos trabajos previos han abordado la problemática del consumo y las pérdidas de agua en contextos universitarios y urbanos. Guamán e Illares (2019) analizaron la huella hídrica del campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca mediante redes de telemetría, demostrando la viabilidad técnica de la medición inteligente a escala de campus. Chafla Martínez et al. (2021) estimaron la huella hídrica personal en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, obteniendo valores promedio de 861,5 m^3/per cápita/año. A escala internacional, Liemberger y Wyatt (2018) cuantificaron el problema global del agua no contabilizada, aportando un marco metodológico ampliamente utilizado para evaluar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento. En el ámbito de la Universidad del Azuay, los trabajos de Achache Carrillo y Gómez Monar (2022) y de López Cando y Murillo López (2024) han aportado evidencia específica sobre las condiciones de la red de distribución interna y sobre el efecto de tecnologías de presurización y medición en la reducción del consumo, respectivamente.

Objetivo General

Evaluar el consumo de agua potable en los edificios de la Universidad del Azuay mediante la integración de datos de macro medición, submedición y medición inteligente, con el fin de proponer alternativas técnicas que permitan optimizar su uso y contribuir a una gestión sostenible del recurso.

Objetivos Específicos

1. Recopilar y analizar los datos de consumo de agua potable por sectores en la Universidad del Azuay, a partir de registros de facturación, medidores principales, medidores internos y caudalímetros inteligentes.

2. Identificar las áreas críticas con mayores volúmenes de consumo de agua dentro del campus, así como posibles patrones anómalos asociados a fugas o usos ineficientes.
3. Proponer alternativas técnicas y de gestión que permitan optimizar el consumo de agua potable y fortalecer la sostenibilidad hídrica de la institución.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, orientado a la recolección, procesamiento y análisis de datos relacionados con el consumo de agua potable en la Universidad del Azuay (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023). La metodología adoptada combinó técnicas de análisis técnico y estadístico, y se organizó en tres etapas secuenciales que se describen a continuación.

En la primera etapa se realizó la recopilación del catastro físico del sistema de agua potable de la Universidad, identificando las redes, conexiones y características generales de la red de distribución interna. De manera complementaria, se obtuvieron los datos históricos de consumo provenientes de las facturas emitidas por ETAPA EP a la Universidad del Azuay desde el año 2019, los cuales fueron fundamentales para caracterizar el comportamiento del consumo en años anteriores y establecer una línea base comparativa con la información actual.

En la segunda etapa se llevó a cabo el procesamiento de los datos provenientes de los medidores principales, los submedidores internos y los caudalímetros inteligentes instalados recientemente. Los registros obtenidos fueron organizados en hojas de cálculo (Microsoft Excel), verificando su consistencia y eliminando los datos atípicos o fuera del rango esperado de acuerdo con criterios de coherencia temporal y magnitud descritos por Hernández-Sampieri y Mendoza (2023). Cuando se identificaron semanas sin lecturas disponibles, se aplicó una interpolación basada en el promedio diario registrado durante los periodos de clases, con el fin de obtener series continuas de consumo que reflejaran de manera precisa la realidad del uso del agua dentro del campus.

En la tercera etapa se realizó el análisis de los datos mediante técnicas estadísticas descriptivas y representaciones gráficas. A partir de este análisis se identificaron los patrones de consumo reales y los consumos facturados, las áreas con mayor demanda y las posibles causas de variaciones en los registros. Con esta información se evaluó el uso actual del recurso y se definieron los insumos técnicos necesarios para proponer medidas orientadas a mejorar la eficiencia en el consumo de agua potable en la Universidad del Azuay.

1 Recopilación de Datos sobre los Consumos de Agua Potable

1.1 Métodos de Medición de Volumen de Agua Potable en Sistemas Presurizados

1.1.1 *Introducción*

La medición del volumen de agua potable constituye un componente esencial para la gestión técnica y económica de los sistemas presurizados, especialmente cuando se requiere analizar consumos por sectores o edificaciones y contrastar fuentes de información con distinta resolución temporal.

Desde el punto de vista hidráulico, el volumen consumido corresponde a la integral del caudal respecto del tiempo; por lo tanto, todo sistema de medición de caudal permite estimar volumen mediante integración o totalización, ya sea mecánica o electrónica (ISO, 2014).

1.1.2 *Principios de Medición y Clasificación de Medidores de Agua*

En los medidores de agua instalados en conducciones cerradas y completamente llenas, los equipos se diseñan para indicar el volumen acumulado, cumpliendo con los requisitos metrológicos y técnicos definidos por los estándares internacionales. Tanto la norma ISO 4064-1 como la Recomendación OIML R 49-1 establecen que los medidores deben incorporar dispositivos que indiquen el volumen acumulado (ISO, 2014; OIML, 2024).

De forma general, los métodos de medición en sistemas presurizados pueden organizarse en medidores mecánicos (con o sin lectura electrónica) y medidores de estado sólido (electrónicos), siendo estos últimos particularmente relevantes en sistemas de medición inteligente y telemetría (Zapata-Sierra et al., 2024).

1.1.3 *Medidores de Desplazamiento Positivo (Volumétricos)*

Los medidores de desplazamiento positivo determinan el volumen mediante el llenado y vaciado repetitivo de cámaras internas, desplazando porciones conocidas de agua. En consecuencia, el volumen total se obtiene por el conteo de ciclos mecánicos, lo que suele favorecer su desempeño en caudales bajos, siempre que las condiciones de calidad del agua y mantenimiento sean adecuadas (ISO, 2014; OIML, 2024).

En términos metrológicos, la confiabilidad de la medición se evalúa con base en las zonas de caudal y los errores máximos permisibles (MPE), definidos por la normativa aplicable al tipo de medidor y a su clase de operación (ISO, 2014; OIML, 2024).

1.1.4 *Medidores Velocimétricos (Turbina y Multichorro)*

En los medidores velocimétricos, la medición se basa en la relación entre la velocidad del flujo y la rotación de un elemento interno. Esta rotación se traduce a un volumen mediante un mecanismo de transmisión y totalización. En las versiones con lectura electrónica, la rotación puede convertirse en pulsos que permiten totalizar el volumen y generar registros a intervalos, lo cual facilita su integración en esquemas de monitoreo con mayor resolución temporal (ISO, 2014; OIML, 2024).

En aplicaciones residenciales y de consumo institucional es importante reconocer que el desempeño metrológico puede verse afectado por flujos intermitentes, arranques y paradas frecuentes, así como por condiciones transitorias. La evidencia experimental reporta que, bajo flujos intermitentes, la magnitud y dispersión del error tienden a incrementarse respecto a las condiciones estacionarias, especialmente en medidores electrónicos residenciales de estado sólido (Arregui et al., 2020).

1.1.5 *Medidores Ultrasónicos*

Los medidores ultrasónicos determinan el caudal —y, por integración, el volumen— utilizando métodos basados en la propagación de ondas acústicas. El método de tiempo de tránsito estima la velocidad del flujo a partir de la diferencia de tiempos de propagación de señales emitidas a favor y en contra del flujo. Este principio es adecuado para dispositivos de bajo consumo energético y con medición digital, lo cual resulta compatible con una infraestructura de medición inteligente (Hong & Lee, 2019).

1.1.6 *Medición Inteligente y Telemetría*

La medición inteligente se caracteriza por incorporar, además del elemento de medición, capacidades de registro por intervalos, almacenamiento, comunicación y análisis. Distintos documentos reportan un crecimiento sostenido de la investigación en dispositivos inteligentes, destacando su papel en el análisis de demanda, la eficiencia operativa, la detección de fugas y el soporte a decisiones en la gestión del agua (Zapata-Sierra et al., 2024).

En los sistemas con lectura automática o infraestructura AMI/AMR, el beneficio principal frente a la lectura mensual consiste en la disponibilidad de series temporales (horarias o menores) que permiten identificar patrones de consumo, consumos base nocturnos y eventos anómalos. Tesis académicas basadas en datos de medidores inteligentes describen el potencial

de la alta resolución temporal para identificar indicios de fugas mediante análisis de patrones y persistencia de consumo en los periodos de baja demanda (Cesaro, 2024).

1.1.7 *Marco Metrológico Aplicable a la Medición de Volumen*

Para garantizar que los análisis de consumo se sustenten en mediciones confiables, resulta indispensable enmarcar el desempeño de los medidores dentro de las normas metrológicas vigentes.

La norma ISO 4064-1 establece los requisitos metrológicos y técnicos para los medidores de agua fría potable y agua caliente que fluyen por conducciones cerradas completamente llenas, incluyendo medidores basados en principios mecánicos, eléctricos o electrónicos, así como aquellos mecánicos con dispositivos electrónicos (ISO, 2014).

Por su parte, la Recomendación OIML R 49-1 define los requisitos metrológicos y técnicos para medidores de agua, incluyendo el concepto de volumen acumulado indicado, y se complementa con partes dedicadas a los métodos de ensayo y formatos de reporte (OIML, 2024). En términos prácticos, estos marcos normativos permiten:

- Interpretar la precisión y los límites de error por rangos de caudal.
- Reconocer las condiciones de instalación y operación que afectan el desempeño.
- Justificar la confiabilidad de las comparaciones entre fuentes de consumo (submedición, medidores principales y registros de alta resolución).

1.2 Recopilación de Datos

Los datos de consumo de agua potable de los edificios de la Universidad del Azuay se obtuvieron a partir de tres fuentes complementarias: registros históricos provenientes de los medidores administrados por ETAPA EP; caudalímetros inteligentes ubicados en zonas específicas del campus y registros históricos de facturación emitidos por dicha entidad, los cuales reflejan el volumen total de agua potable consumido en la Universidad.

En el caso de los medidores administrados por ETAPA EP, se dispuso de información correspondiente a consumos semanales, los cuales representan el consumo total de sectores generales de la Universidad. Adicionalmente, se cuenta con medidores internos instalados en determinadas edificaciones, los cuales permiten conocer el consumo específico de cada una de ellas, información que también fue considerada en el presente estudio.

Por otra parte, a partir de los caudalímetros inteligentes se obtuvieron datos específicos de consumo en edificios y sectores determinados en tiempo real. Estos dispositivos proporcionan registros con alta resolución temporal, permitiendo disponer de información horaria, diaria y mensual del consumo de agua potable en las zonas donde se encuentran instalados.

Finalmente, mediante el análisis de las facturas mensuales emitidas por ETAPA EP, se determinó el volumen total de agua potable consumido en toda la Universidad, lo cual permitió contrastar y validar los datos obtenidos a partir de los diferentes sistemas de medición utilizados.

Desde un enfoque técnico, la recopilación anterior puede interpretarse como un esquema de macro medición y micro medición que, además de describir consumos, permite estructurar balances y controles de pérdidas. La guía regulatoria ecuatoriana para la formulación del balance hídrico basada en la metodología IWA enfatiza que la medición, tanto en los puntos de entrega como de consumo, constituye la base del balance hídrico y de la desagregación de pérdidas (ARCA, 2022).

1.2.1 *Datos de Medidores Convencionales (ETAPA EP y Medidores Internos)*

En este apartado se describen los medidores mecánicos convencionales utilizados para la tarificación y la medición interna. A diferencia de los caudalímetros inteligentes descritos en la Sección 1.2.2, estos medidores no disponen de capacidades de comunicación inalámbrica ni registro remoto, por lo que las lecturas se efectuaron de manera manual y con periodicidad semanal.

La información se recopiló a partir de tres medidores principales administrados por ETAPA EP, los cuales monitorean los caudales de ingreso a los distintos sectores del campus, y de ocho medidores internos instalados en los edificios de Administración, Medicina y Ciencia y Tecnología, los cuales permiten diferenciar el consumo por aparato sanitario (lavamanos, inodoros y urinarios). La Tabla 1 presenta la información de los medidores principales, mientras que la Tabla 2 detalla los medidores internos.

Tabla 1

Medidores principales administrados por ETAPA EP

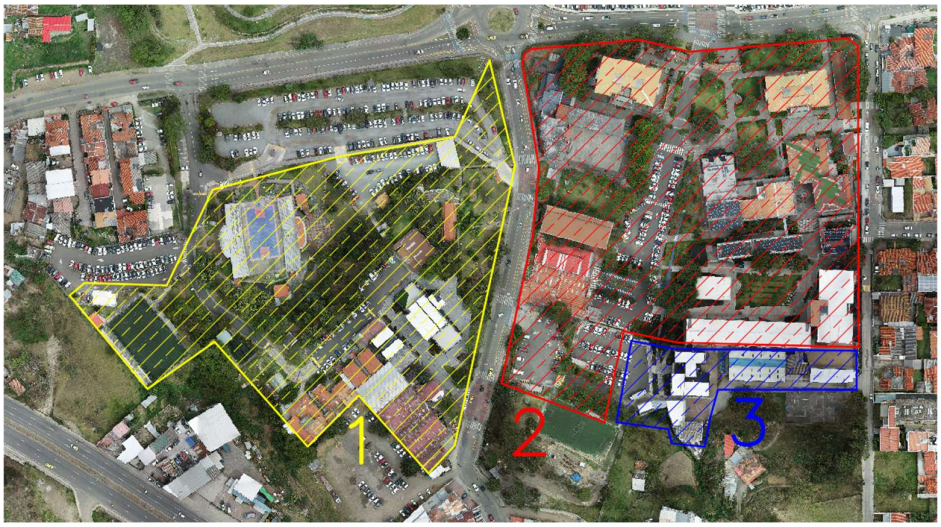
Zona	N.° de medidor	Diámetro	Sectores / Edificaciones monitoreadas
Zona 1	2024052359	20 mm	Campus de la Facultad de Ciencia y Tecnología (ubicado en la calle Hernán Malo, en la entrada principal de la facultad).
Zona 2	15449783	50 mm	Facultades de Administración, Filosofía, Diseño, Medicina y Ciencias Jurídicas; auditorio principal y laboratorios asociados (ubicado dentro del campus, junto a la Facultad de Filosofía, en el cuarto de bombas).
Zona 3	2022028084	20 mm	UDA Salud y edificios posteriores al Campus Tech.

Nota. Elaboración propia a partir del catastro físico del sistema de agua potable de la Universidad del Azuay.

La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de los tres macro medidores en el campus, representados mediante puntos sobre la imagen aérea del predio universitario. Cada punto corresponde a la posición exacta del medidor y se asocia a la zona de monitoreo descrita en la Tabla 1.

Figura 1

Ubicación de los macro medidores de ETAPA EP en el campus de la Universidad del Azuay



Nota. Elaboración propia sobre imagen satelital del campus obtenida de Google Earth (2025).

Tabla 2

Medidores internos instalados en los edificios de la Universidad del Azuay

Zona	N.º de medidor	Diámetro	Aparato sanitario / uso monitoreado
Zona 1	2125028467	25 mm	Lavamanos del edificio de la Facultad de Medicina y Ciencias Jurídicas.
Zona 1	2125028469	25 mm	Inodoros y urinarios del edificio de la Facultad de Medicina y Ciencias Jurídicas.
Zona 2	2125027818	25 mm	Inodoros de los baños de mujeres — Facultad de Administración.
Zona 2	2125028456	25 mm	Lavamanos de los baños de mujeres — Facultad de Administración.
Zona 2	2125028459	25 mm	Inodoros y urinarios de los baños de hombres — Facultad de Administración.

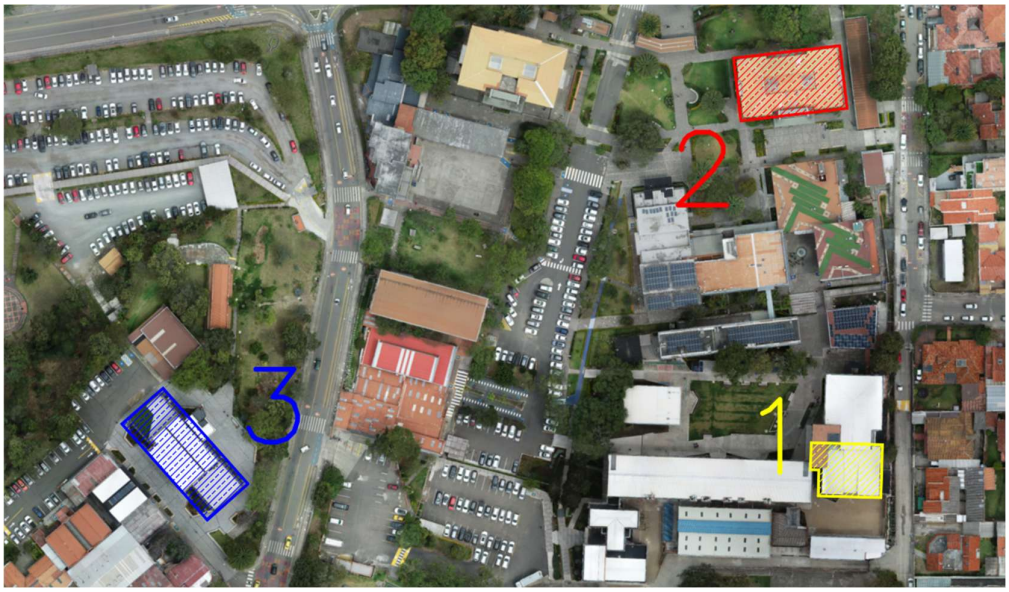
Zona	N.º de medidor	Diámetro	Aparato sanitario / uso monitoreado
Zona 2	2125028470	25 mm	Lavamanos de los baños de hombres — Facultad de Administración.
Zona 3	12906861	25 mm	Lavamanos de los baños del edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología.
Zona 3	12906860	25 mm	Inodoros y urinarios del edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología.

Nota. Elaboración propia a partir del inventario de medidores de la Universidad del Azuay.

La Figura 2 presenta la ubicación de los edificios en los que se instalaron los submedidores internos. Si bien la tabla describe la funcionalidad específica de cada equipo, la representación espacial permite visualizar la distribución de la submedición en el campus universitario y facilita la lectura conjunta con los macro medidores descritos previamente.

Figura 2

Ubicación de los edificios con submedidores internos



Nota. Elaboración propia sobre imagen satelital del campus obtenida de Google Earth (2025).

1.2.2 *Datos de Caudalímetros Inteligentes*

A diferencia de los medidores convencionales descritos en la Sección 2.2.1, que registran únicamente el volumen acumulado para fines de lectura manual, los caudalímetros inteligentes descritos en este apartado corresponden a dispositivos de estado sólido con capacidades de telemetría, almacenamiento y transmisión inalámbrica de datos en tiempo real. Esta distinción es fundamental, ya que tanto los medidores mecánicos como los dispositivos inteligentes son, en sentido amplio, instrumentos de medición de caudal; sin embargo, difieren en principio de medición, resolución temporal y funcionalidades asociadas.

El monitoreo y control del consumo de agua potable constituye una herramienta fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos. En este contexto, los caudalímetros inteligentes con conectividad Wi-Fi representan una solución tecnológica aplicada tanto a sistemas domiciliarios como a pequeñas redes de distribución, permitiendo la medición en tiempo real de variables hidráulicas como el caudal, la presión y la temperatura, además de la detección de fugas y el control remoto del paso del agua.

El presente apartado describe de manera técnica y formal el funcionamiento de un caudalímetro inteligente Wi-Fi compatible con la plataforma Tuya, de diámetro nominal DN20

(3/4 pulgadas), detallando los principios de medición empleados, su arquitectura interna y su utilidad práctica en sistemas de abastecimiento de agua, fundamentándose en principios de instrumentación hidráulica y sensores industriales descritos en la literatura técnica especializada (Omega Engineering Inc., 2020).

1.2.2.1 *Descripción General del Dispositivo.*

El dispositivo analizado corresponde a una válvula inteligente de agua con medición integrada de caudal, presión y temperatura. Este equipo combina sensores hidráulicos, un sistema electrónico de control, comunicación inalámbrica y una válvula motorizada que permite la apertura y cierre automático o manual del suministro. La Tabla 3 resume las principales características técnicas del dispositivo.

Tabla 3

Características técnicas del caudalímetro inteligente Wi-Fi DN20

Parámetro	Especificación
Diámetro nominal	DN20 (3/4 pulgadas)
Rango de presión de trabajo	0 – 200 PSI
Precisión de medición de presión	±1 kPa
Resolución de medición de caudal	0,1 m³
Rango de medición de temperatura	-10 °C a 65 °C
Precisión de temperatura	±0,5 °C
Alimentación eléctrica	5 V DC
Comunicación inalámbrica	Wi-Fi 2,4 GHz y Bluetooth
Plataforma de control	Tuya Smart

Parámetro	Especificación
Grado de protección	IPX7

Nota. Elaboración propia a partir de la hoja de datos del fabricante y lineamientos de Omega Engineering Inc. (2020).

1.2.2.2 *Principio de Medición del Caudal.*

El caudalímetro inteligente mide el caudal del agua mediante un sistema de turbina interna acoplada a un sensor de efecto Hall, principio ampliamente documentado para medidores mecánicos de flujo (Miller, 1996). Este método es ampliamente utilizado en dispositivos de medición doméstica debido a su simplicidad, bajo costo y confiabilidad aceptable para aplicaciones no industriales.

Cuando el agua circula a través del dispositivo, provoca el giro de una turbina ubicada en el interior del cuerpo del caudalímetro. Cada giro de la turbina genera una señal magnética que es detectada por el sensor de efecto Hall, produciendo pulsos eléctricos proporcionales a la velocidad de rotación.

El microcontrolador interno contabiliza el número de pulsos por unidad de tiempo y, mediante un factor de calibración proporcionado por el fabricante, convierte esta frecuencia en un valor de caudal instantáneo. De esta forma, el equipo es capaz de calcular el caudal en tiempo real y el volumen acumulado de agua que ha circulado por la tubería.

1.2.2.3 *Principio de Medición de la Presión.*

La medición de la presión del agua se realiza mediante un sensor piezorresistivo integrado en el cuerpo del dispositivo, tecnología basada en la deformación elástica de una membrana sensible a la presión (Bosch Rexroth AG, 2019). Este tipo de sensor consta de una membrana sensible a la presión, la cual se deforma de manera proporcional al esfuerzo ejercido por el fluido. La deformación de la membrana genera una variación en la resistencia eléctrica del sensor, la cual es interpretada por el sistema electrónico interno y convertida en un valor de presión, generalmente expresado en kilopascales (kPa) o libras por pulgada cuadrada (PSI).

Este principio de medición permite obtener lecturas continuas y suficientemente precisas para el control y monitoreo de sistemas de agua potable a escala domiciliaria.

1.2.2.4 *Medición de la Temperatura del Agua.*

El dispositivo incorpora un sensor de temperatura del tipo termistor NTC, el cual se encuentra en contacto térmico con el flujo de agua y cuyo principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica con la temperatura (National Instruments, 2020). Este sensor varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura, permitiendo al microcontrolador calcular el valor térmico del fluido. La medición de temperatura es utilizada tanto para fines de monitoreo como para la protección del sistema, permitiendo la detección de condiciones anómalas de operación.

1.2.2.5 *Detección de Fugas.*

La detección de fugas no se realiza mediante un sensor físico específico, sino a través de un análisis lógico del comportamiento del caudal en el tiempo, metodología utilizada en sistemas de monitoreo de redes de distribución para el control de pérdidas (U.S. Environmental Protection Agency, 2018). El sistema evalúa patrones de consumo, identificando situaciones en las que existe un flujo continuo durante periodos prolongados sin una demanda programada o habitual. Cuando se detecta una condición anómala que puede asociarse a una fuga, el dispositivo envía una alerta al usuario a través de la aplicación móvil y, de ser configurado, puede proceder al cierre automático de la válvula para evitar pérdidas adicionales de agua.

1.2.2.6 *Transmisión de Datos y Monitoreo en Tiempo Real.*

Los datos registrados por los sensores de caudal, presión y temperatura son procesados por el microcontrolador interno y transmitidos de forma inalámbrica mediante Wi-Fi a la plataforma en la nube de Tuya, siguiendo una arquitectura típica de dispositivos IoT para monitoreo remoto en tiempo real (Tuya Inc., s. f.). Desde esta plataforma, la información es accesible al usuario a través de una aplicación móvil. El sistema permite visualizar en tiempo real los valores instantáneos de caudal y presión, el consumo acumulado, el estado de la válvula y las alertas por fugas o condiciones anormales, además de permitir el control remoto de apertura y cierre del suministro.

1.2.2.7 *Aplicaciones y Limitaciones.*

Los caudalímetros inteligentes con conectividad Wi-Fi son adecuados para aplicaciones como el control de consumo domiciliario, la detección temprana de fugas, la automatización de sistemas de agua potable y las auditorías básicas de consumo. No obstante, su precisión es inferior a la de los caudalímetros electromagnéticos o ultrasónicos utilizados en aplicaciones

industriales o de alta exigencia metrológica, por lo que su uso debe limitarse a sistemas donde se requiera monitoreo y control, más que medición de alta exactitud.

En la Universidad del Azuay, los caudalímetros instalados son de tipo genérico compatible con la plataforma Tuya y se ubican en puntos estratégicos para monitorear el flujo de agua en distintos edificios y sectores. Actualmente existen instalados siete caudalímetros inteligentes: cinco destinados al monitoreo del agua potable, uno para el agua subterránea proveniente del pozo somero y uno para el sistema de agua lluvia y aguas grises tratadas del Campus Tech. El detalle de cada dispositivo, tipo de agua monitoreada, diámetro y fecha de instalación se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4

Caudalímetros inteligentes instalados en la Universidad del Azuay

N.°	Denominación	Tipo de agua	Diámetro	Fecha de instalación
1	Red Diseño	Potable	1"	11/sep/2025
2	Red Administración	Potable	1"	12/sep/2025
3	Pozo Somero	Agua subterránea	1"	17/sep/2025
4	Agua Reciclada Campus Tech	Agua lluvia y gris tratada	1"	25/sep/2025
5	UDA Salud	Potable	1"	23/oct/2025
6	Red Filosofía	Potable	1"	17/nov/2025
7	Vicerrectorado	Potable	1"	25/feb/2026
8	Red CCTT	Potable	1"	02/mar/2026
9	Casa Servicios	Agua lluvia	1"	13/mar/2026

N.°	Denominación	Tipo de agua	Diámetro	Fecha de instalación
10	Ceiap	Potable	3/4"	13/mar/2026
11	Gimnasio	Potable	3/4"	13/mar/2026

Nota. Elaboración propia a partir del registro de instalación de caudalímetros de la Universidad del Azuay (2025-2026).

1.2.3 *Datos de Facturas*

La información empleada para el análisis del consumo de agua potable fue obtenida a partir de las facturas digitales emitidas por ETAPA EP a la Universidad del Azuay. Estos registros se encuentran disponibles de forma continua desde el año 2019 y constituyen la fuente primaria de datos del estudio, ya que representan el consumo real registrado por los medidores principales instalados en la institución. Las facturas contienen información detallada tanto del volumen mensual consumido, expresado en metros cúbicos, como de los valores económicos facturados por el servicio de agua potable.

Con el propósito de organizar y procesar la información, los datos obtenidos de las facturas digitales fueron recopilados y sistematizados mediante el uso de hojas de cálculo en Microsoft Excel. Para cada medidor principal se construyó una base de datos con resolución mensual, lo que permitió estructurar series históricas de consumo y de costos asociados al uso del recurso hídrico. Este proceso facilitó el manejo ordenado de la información y permitió realizar análisis posteriores de manera eficiente y consistente.

A partir de la base de datos generada, se efectuó un análisis comparativo entre distintos meses y años, con el objetivo de identificar variaciones temporales en el consumo de agua potable y en los valores económicos pagados por la universidad. Este análisis permitió determinar los años con mayor consumo y aquellos en los que se registraron mayores gastos por el servicio, proporcionando una visión clara de la evolución del uso del agua potable en la Universidad del Azuay y constituyendo un insumo fundamental para la interpretación de los resultados del estudio.

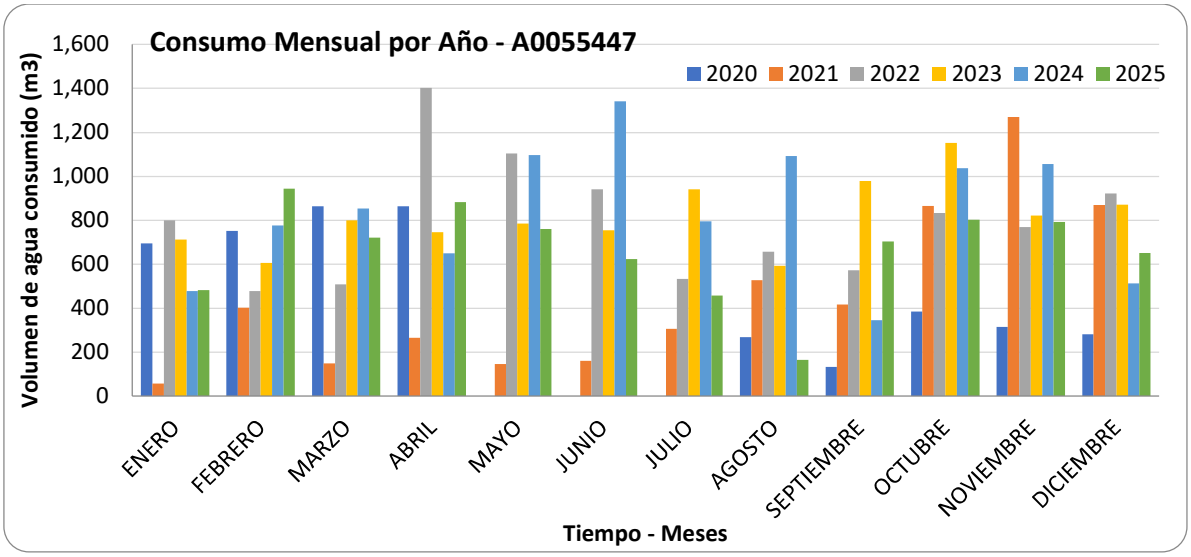
1.3 Tabulación de Datos

A continuación, se presentan los datos mensuales de los consumos de agua potable correspondientes a los diferentes años de facturación registrados por ETAPA EP. La

información se organiza por medidor principal, permitiendo observar la evolución temporal del consumo para cada sector del campus universitario. Las Figuras 3, 4 y 5 muestran los consumos mensuales correspondientes al medidor principal del campus central (código ETAPA A0055447), al medidor secundario del campus central (código ETAPA A0055448) y al medidor principal del campus de Ciencia y Tecnología (código ETAPA A0156883), respectivamente, comparando los registros de los años 2022, 2023, 2024 y 2025.

Figura 3

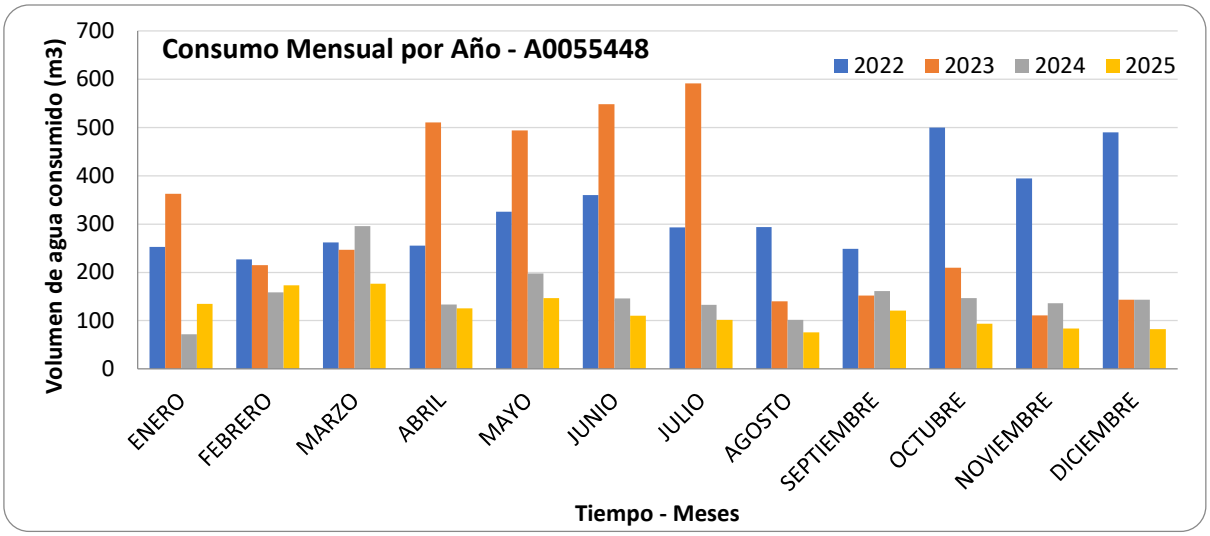
Consumos mensuales de agua potable del campus central — Medidor Principal (código ETAPA A0055447)



Nota. Elaboración propia a partir de las facturas digitales emitidas por ETAPA EP a la Universidad del Azuay (2022-2025).

Figura 4

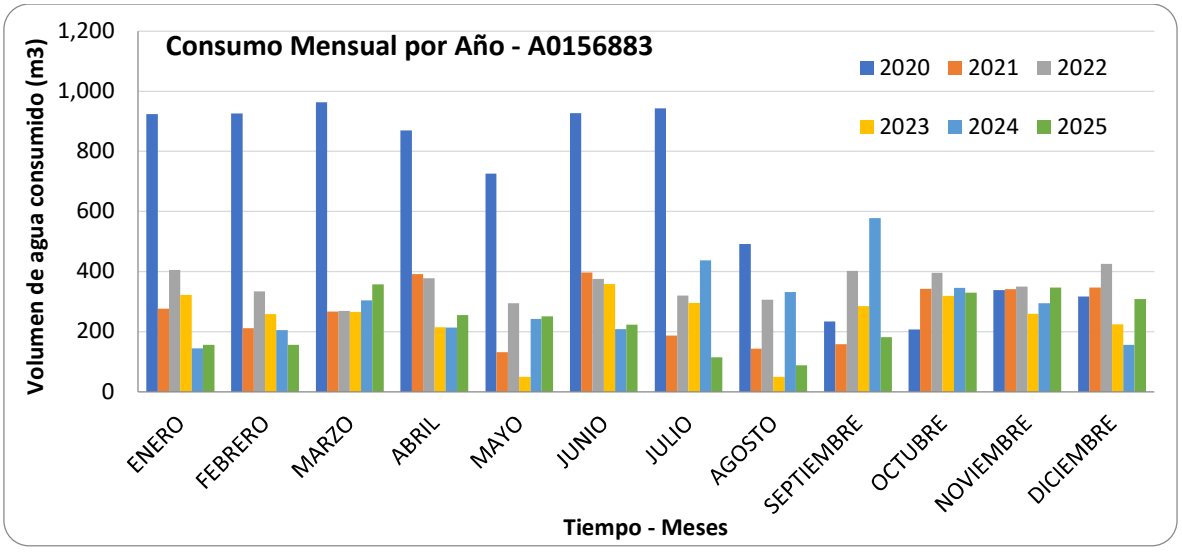
Consumos mensuales de agua potable del campus central — Medidor Secundario (código ETAPA A0055448)



Nota. Elaboración propia a partir de las facturas digitales emitidas por ETAPA EP a la Universidad del Azuay (2022-2025).

Figura 5

Consumos mensuales de agua potable del campus de Ciencia y Tecnología — Medidor Principal (código ETAPA A0156883)



Nota. Elaboración propia a partir de las facturas digitales emitidas por ETAPA EP a la Universidad del Azuay (2022-2025).

La presentación conjunta de los tres medidores principales permite visualizar las diferencias relativas de consumo entre los sectores monitoreados y constituye la base para el análisis comparativo desarrollado en el Capítulo 2. Las Figuras 3 y 4 muestran que el consumo

del campus central presenta su mayor demanda en los meses de actividad académica intensa (abril–junio), con volúmenes mensuales de hasta 845 m³ en el medidor principal (A0055447) y 148 m³ en el medidor secundario (A0055448), seguidos de una reducción progresiva durante el receso de julio y agosto. La Figura 5, correspondiente al campus de Ciencia y Tecnología (A0156883), evidencia la mayor amplitud estacional: los consumos prácticamente se duplican en junio —período de exámenes finales, con hasta 280 m³ mensuales— respecto al período de vacaciones, donde descienden a 111 m³ en agosto. En los tres medidores se observa una pendiente de consumo acumulado claramente diferenciada entre ciclo lectivo y receso académico, lo que confirma la estrecha dependencia del uso del agua respecto al calendario universitario.

2 Análisis de Resultados

2.1 Análisis y Comparación de Datos de Medidores Principales

Se analizaron los datos recopilados semanalmente de los tres medidores principales N.° 2022028084, 15449783 y 2024052359 durante el periodo comprendido entre abril y agosto de 2025, intervalo en el cual se dispuso de la mayor cantidad de registros reales de forma continua. En las semanas en que no se contaba con datos disponibles se aplicó una interpolación lineal a partir del volumen promedio diario calculado durante el periodo de clases, con el fin de obtener series continuas y comparables. Para cada medidor se generaron tres tipos de representaciones gráficas: volumen total acumulado, volumen parcial semanal y promedio diario, los cuales se incorporan en la sección de anexos del presente documento (véase Anexo A) para preservar la fluidez del análisis. A continuación se describen los hallazgos derivados de cada tipo de representación, organizados por medidor.

2.1.1 *Volumen total acumulado*

Los gráficos de volumen total acumulado representan la lectura directa del medidor a lo largo del tiempo y reflejan, mediante la pendiente de su línea de tendencia, la velocidad con la que se consume el agua en cada zona del campus (véase Anexo A.1).

El medidor N.° 2022028084, ubicado en la entrada principal del campus dentro del cuarto de bombas, presenta el mayor volumen acumulado del estudio, ya que registra el consumo de prácticamente la totalidad del campus principal. Su crecimiento semanal promedio es de 132 m³ y conserva un comportamiento aproximadamente lineal durante el periodo de clases (abril–

junio), con una atenuación clara a partir de julio que se intensifica en agosto, coherente con el receso académico.

El medidor N.° 15449783, situado frente a la entrada principal de la Universidad, presenta el comportamiento más estable y predecible de los tres, con una pendiente semanal promedio de 23.93 m³ y un coeficiente de determinación R^2 superior a 0.99 en todos los meses analizados. La curva mantiene una tasa de crecimiento prácticamente uniforme incluso durante el periodo vacacional, lo que evidencia un consumo base poco dependiente del calendario académico.

El medidor N.° 2024052359, instalado en la Facultad de Ciencia y Tecnología a partir de mayo, exhibe el contraste estacional más marcado: la pendiente del volumen total se mantiene elevada durante mayo y junio (con un máximo en junio asociado a los exámenes finales) y disminuye notoriamente durante julio y agosto. Este comportamiento confirma una fuerte dependencia del consumo de la facultad respecto al calendario académico.

2.1.2 *Volumen parcial semanal*

Los gráficos de volumen parcial semanal corresponden a la diferencia entre dos lecturas consecutivas del medidor y permiten identificar variaciones puntuales del consumo, así como detectar comportamientos anómalos asociados a fugas, eventos especiales o cambios en la actividad del campus (véase Anexo A.2).

Para el medidor N.° 2022028084, los consumos semanales se mantienen elevados durante el periodo de clases, con valores que oscilan entre 102 m³ y 256 m³ en abril, entre 150 m³ y 211 m³ en mayo y entre 107 m³ y 207 m³ en junio. A partir de julio se evidencia una transición descendente clara hacia el periodo vacacional, hasta alcanzar la mayor variabilidad del estudio en agosto, con valores mínimos cercanos a 16.57 m³ en las primeras semanas y picos de 133.27 m³ hacia el final del mes, posiblemente asociados a labores de mantenimiento o de preparación para el retorno a clases.

El medidor N.° 15449783 presenta la menor variabilidad semanal de los tres, con valores que fluctúan entre 23 m³ y 37 m³ durante los meses de clases y entre 14 m³ y 32 m³ durante las vacaciones. Destaca un consumo atípico de 80 m³ en la semana del 22 de agosto, posiblemente atribuible a un uso puntual elevado, así como una leve tendencia descendente en mayo y junio.

El medidor N.° 2024052359 muestra la mayor amplitud de variación entre periodos: oscila entre 17.93 m³ y 51.05 m³ en mayo, alcanza un máximo de 80.69 m³ en junio durante

los exámenes finales y se reduce a un rango de 25 m³ a 35 m³ en julio y agosto. Esta diferencia entre periodos confirma la dependencia del consumo respecto a la actividad académica de la facultad.

2.1.3 *Promedio diario*

Los gráficos de promedio diario expresan el consumo semanal dividido por el número de días, lo que normaliza las comparaciones entre periodos y facilita la confrontación con valores de referencia (véase Anexo A.3).

Para el medidor N.° 2022028084, el promedio diario se mantiene estable durante los meses de clases, con valores cercanos a 28 m³/día en abril, entre 21 m³/día y 30 m³/día en mayo y alrededor de 23 m³/día en junio. En julio desciende a un rango de 7 m³/día a 20 m³/día y alcanza la mayor irregularidad del periodo en agosto, con valores extremos de 3.31 m³/día en la primera semana y 13.33 m³/día en la tercera.

El medidor N.° 15449783 conserva valores estables entre 4.3 m³/día y 5 m³/día durante los meses de clases, lo que confirma su carácter de consumo base independiente del calendario académico. Durante el periodo vacacional el promedio desciende a 3.24 m³/día en julio y a un rango de 2.33 m³/día a 8 m³/día en agosto, presentando la mayor variabilidad relativa de su serie.

El medidor N.° 2024052359 registra los promedios diarios más altos durante junio, con valores entre 6 m³/día y 9 m³/día, alcanzando un máximo coincidente con los exámenes finales. En julio y agosto el promedio diario desciende hasta valores cercanos a 2 m³/día, lo que constituye la reducción relativa más pronunciada entre los tres medidores y refleja la baja ocupación de la facultad durante el receso académico.

2.1.4 *Síntesis de los registros mensuales*

La Tabla 5 sintetiza los valores clave obtenidos para cada medidor en los meses analizados, integrando el volumen acumulado al inicio y final del mes, el consumo mensual estimado, el promedio diario, la pendiente semanal de la línea de tendencia y el coeficiente de determinación correspondiente. Esta síntesis permite contrastar los tres medidores sobre una misma base y constituye el insumo de partida para la identificación de áreas críticas que se aborda en los capítulos posteriores.

Tabla 5

Síntesis mensual del consumo de agua potable por medidor principal (abril–agosto 2025)

Mes	Medidor	Volumen acumulado (m³)	Consumo mensual (m³)	Promedio diario (m³/día)	Pendiente semanal (m³/sem)	R²
Abril	2022028084	676.83 → 1 437.61	845	28.18	256.26	0.898
Abril	15449783	18 268 → 18 379	129	4.31	27.30	0.997
Abril	2024052359	Sin datos (no instalado)	—	—	—	—
Mayo	2022028084	1 587 → 2 119	754	24.32	25.80	0.997
Mayo	15449783	18 416 → 18 513	148	4.79	4.56	0.998
Mayo	2024052359	175 → 335	225	7.25	6.97	0.997
Junio	2022028084	2 326 → 2 757	690	23.00	21.95	0.967
Junio	15449783	18 545 → 18 635	134	4.47	4.17	0.992
Junio	2024052359	415 → 564	280	9.33	7.45	0.939
Julio	2022028084	2 875 → 3 299	457	13.96	106.00	—
Julio	15449783	18 651 → 18 751	116	3.24	3.58	0.983
Julio	2024052359	598 → 690	126	5.25	4.34	0.998
Agosto	2022028084	3 316 → 3 546	165	8.38	82.46	0.947
Agosto	15449783	18 769 → 18 876	88	3.99	40.10	0.901
Agosto	2024052359	714 → 825	111	3.70	28.03	0.999

Nota. Elaboración propia con base en datos de facturación de ETAPA EP (2022–2025).

2.2 Análisis Horario de Caudalímetros Inteligentes

A partir de los caudalímetros inteligentes, se obtuvieron datos del volumen de consumo de agua por día; adicionalmente, se recopilaron los datos del volumen promedio horario durante dos semanas representativas.

2.2.1 *Volumen Diario por Caudalímetro*

Los caudalímetros inteligentes fueron instalados de forma escalonada a partir del 11 de septiembre de 2025, conforme la universidad incorporaba nuevos dispositivos en los distintos

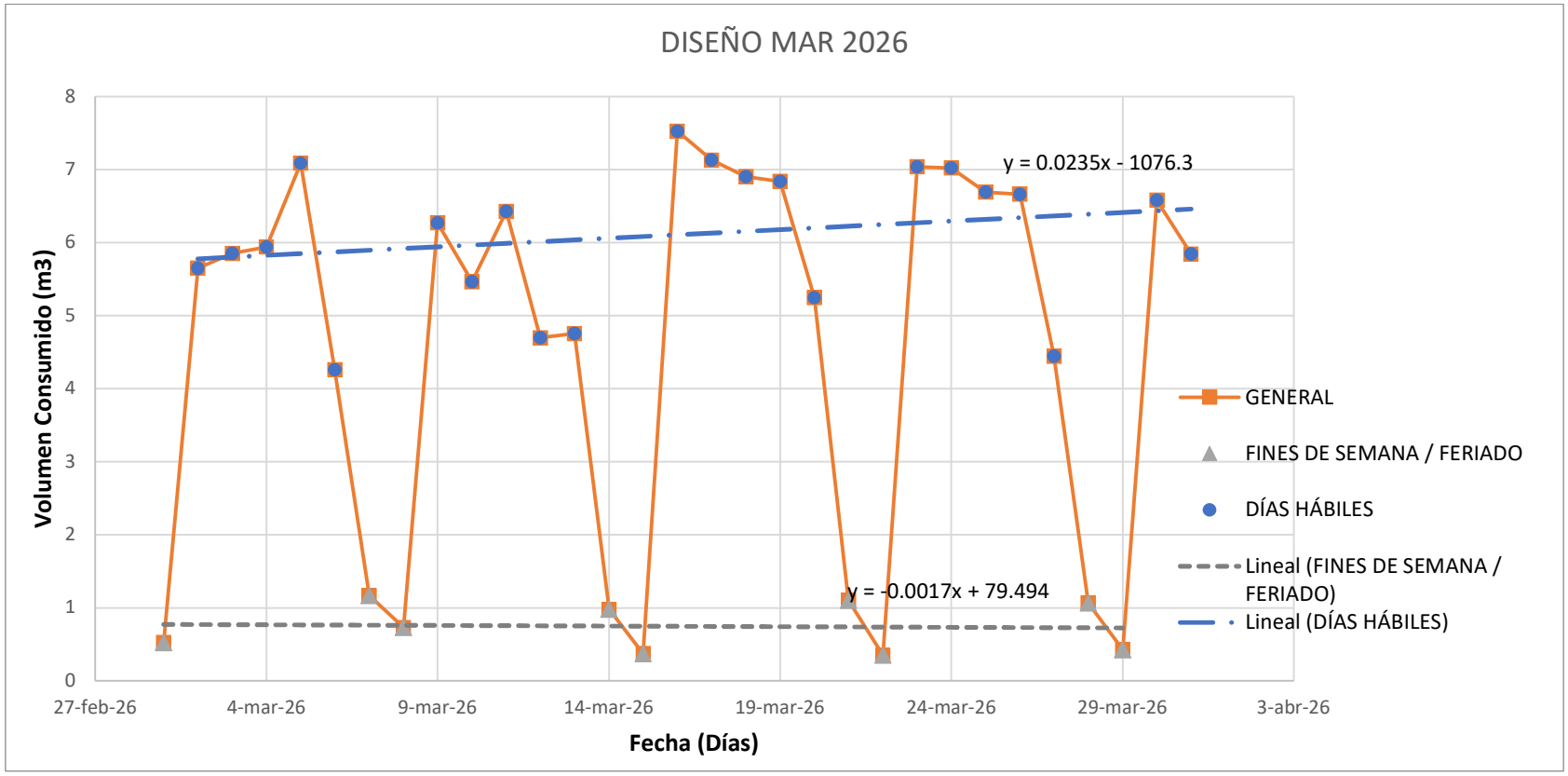
sectores del campus universitario, lo que permitió ampliar progresivamente la cobertura del monitoreo hídrico.

A continuación se presenta, para cada edificio monitoreado, el gráfico correspondiente al último mes de registro disponible. Los gráficos de los meses subsiguientes se incluyen en el Anexo B. Cada gráfica muestra el volumen de consumo diario a lo largo del mes, diferenciando la tendencia de consumo entre días hábiles (lunes a viernes) y días feriados o fines de semana (sábado y domingo), lo que permite visualizar el efecto del calendario académico sobre la demanda hídrica en cada sector del campus.

2.2.1.1 *Diseño.*

Figura 6

Volumen diario de agua potable — Facultad de Diseño, marzo 2026

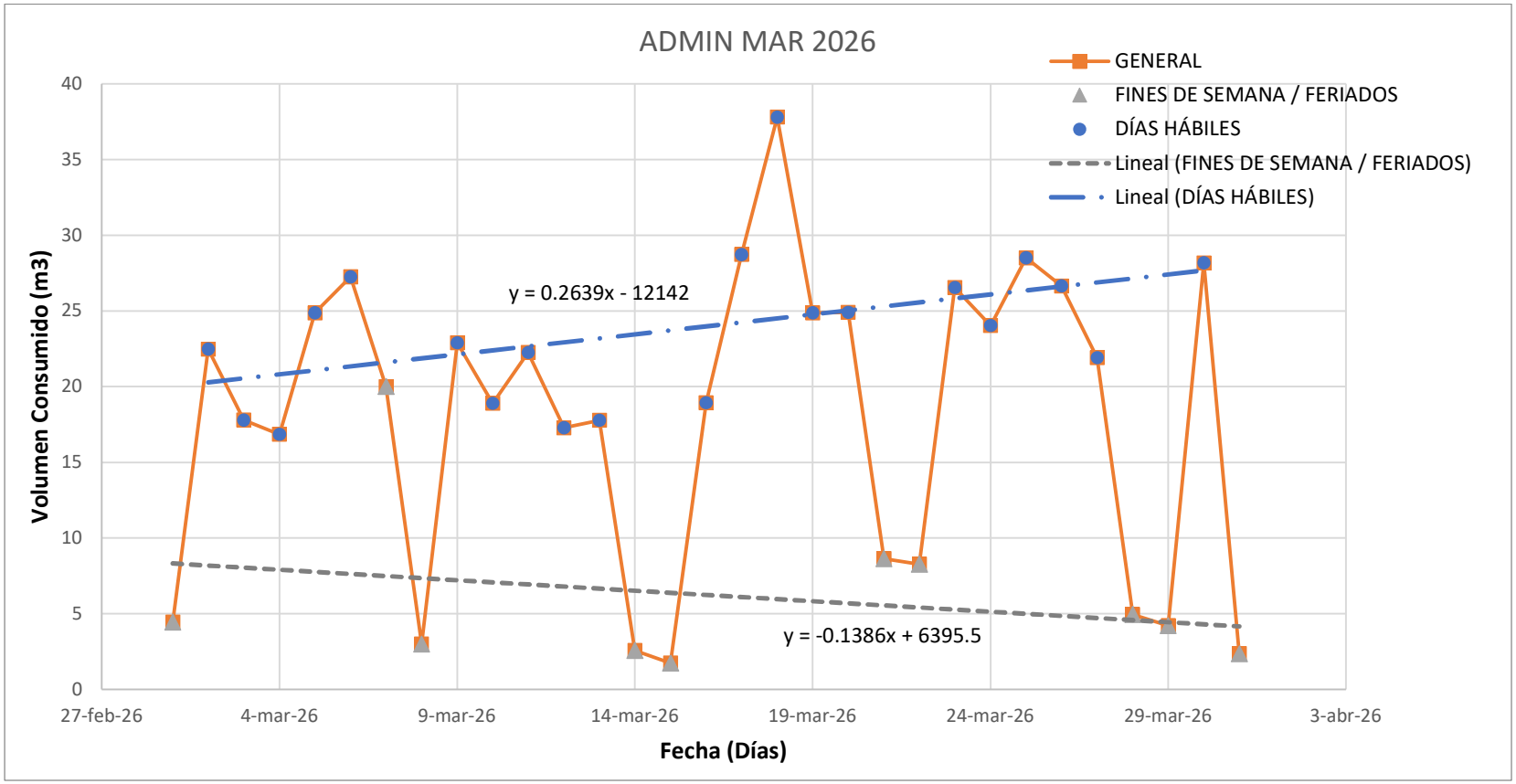


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.1.2 *Administración.*

Figura 7

Volumen diario de agua potable — Facultad de Administración, marzo 2026

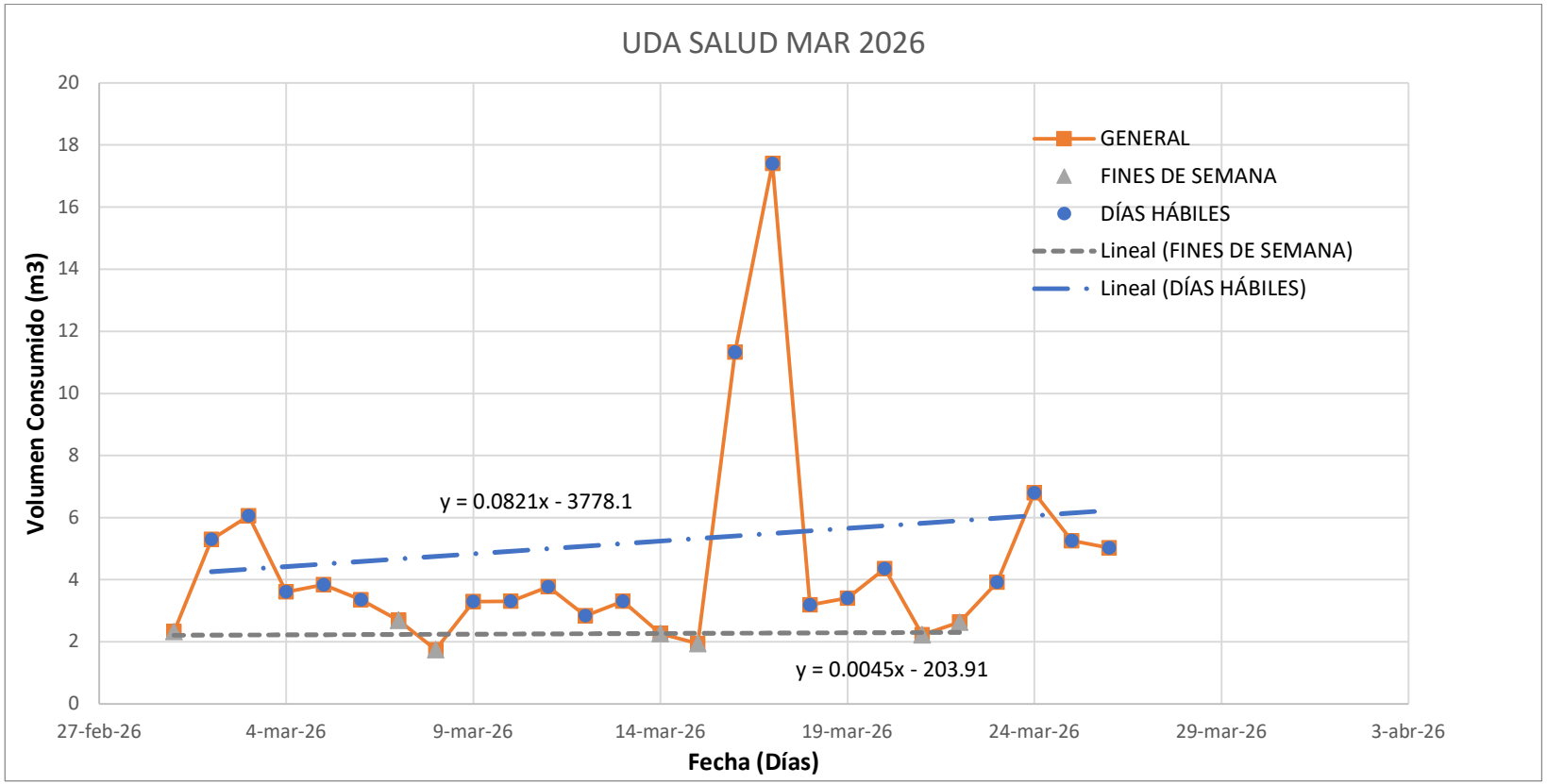


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.1.3 *Uda Salud.*

Figura 8

Volumen diario de agua potable — UDA Salud, marzo 2026

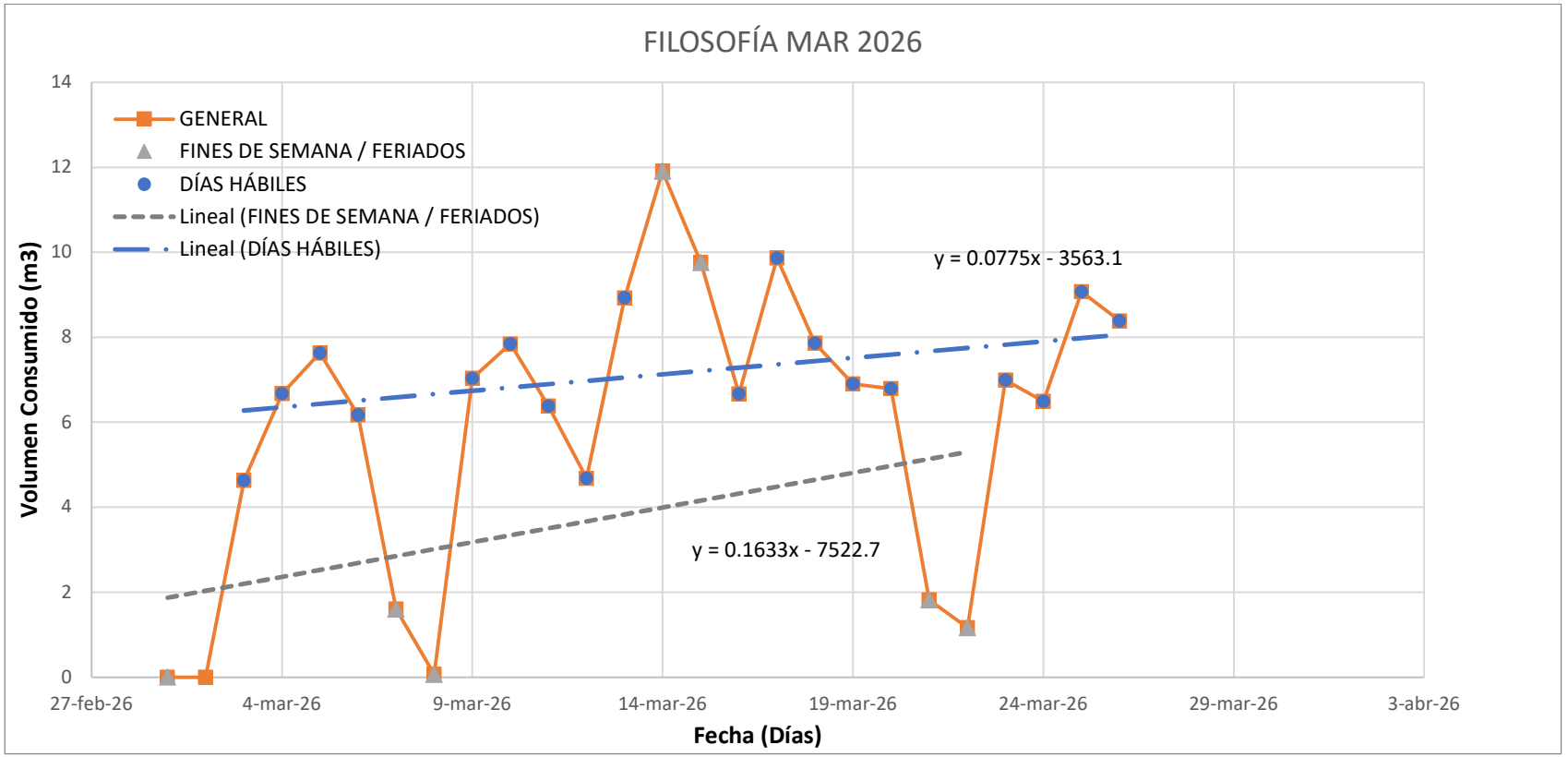


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.1.4 *Filosofía.*

Figura 9

Volumen diario de agua potable — Facultad de Filosofía, marzo 2026

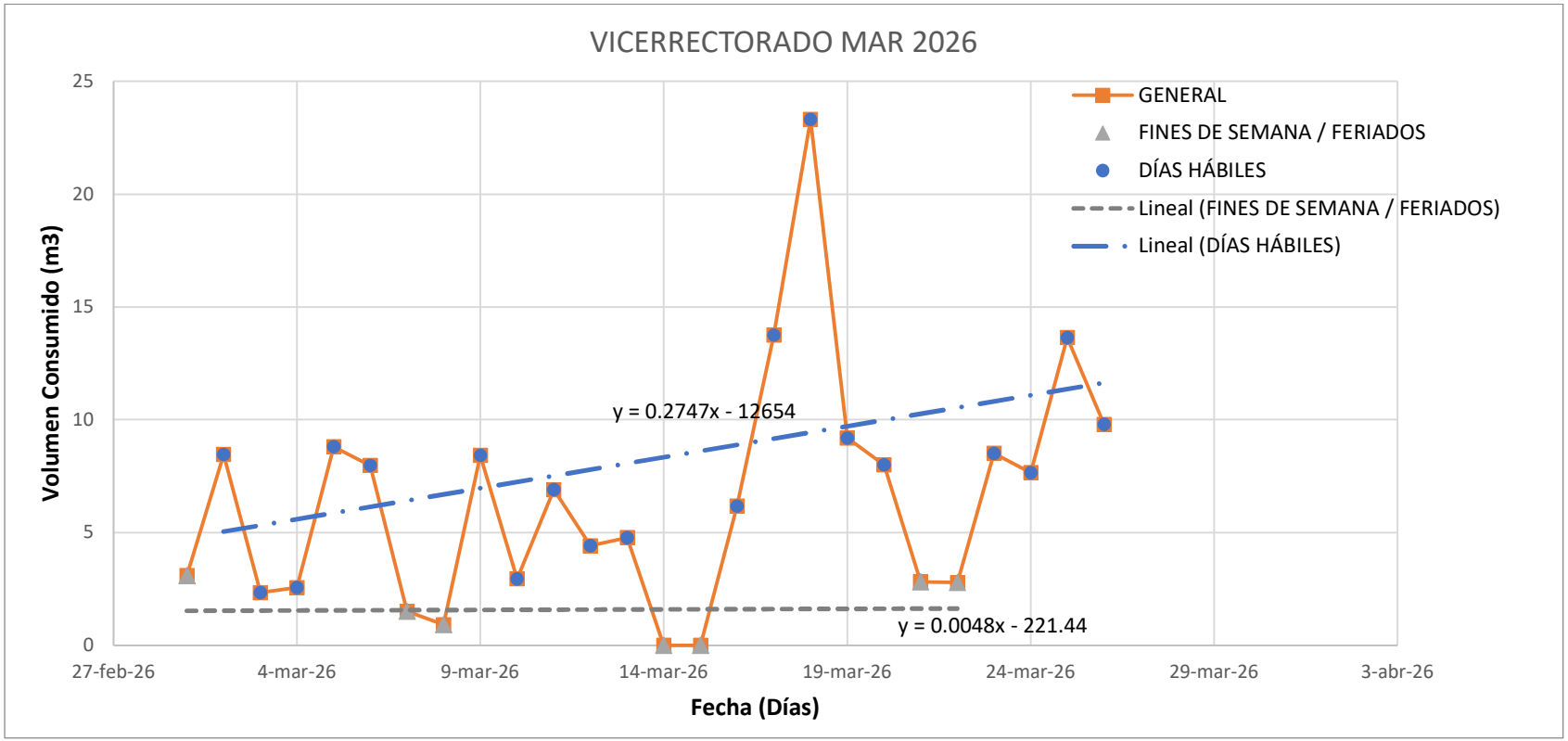


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.1.5 *Vicerrectorado.*

Figura 10

Volumen diario de agua potable — Vicerrectorado, marzo 2026

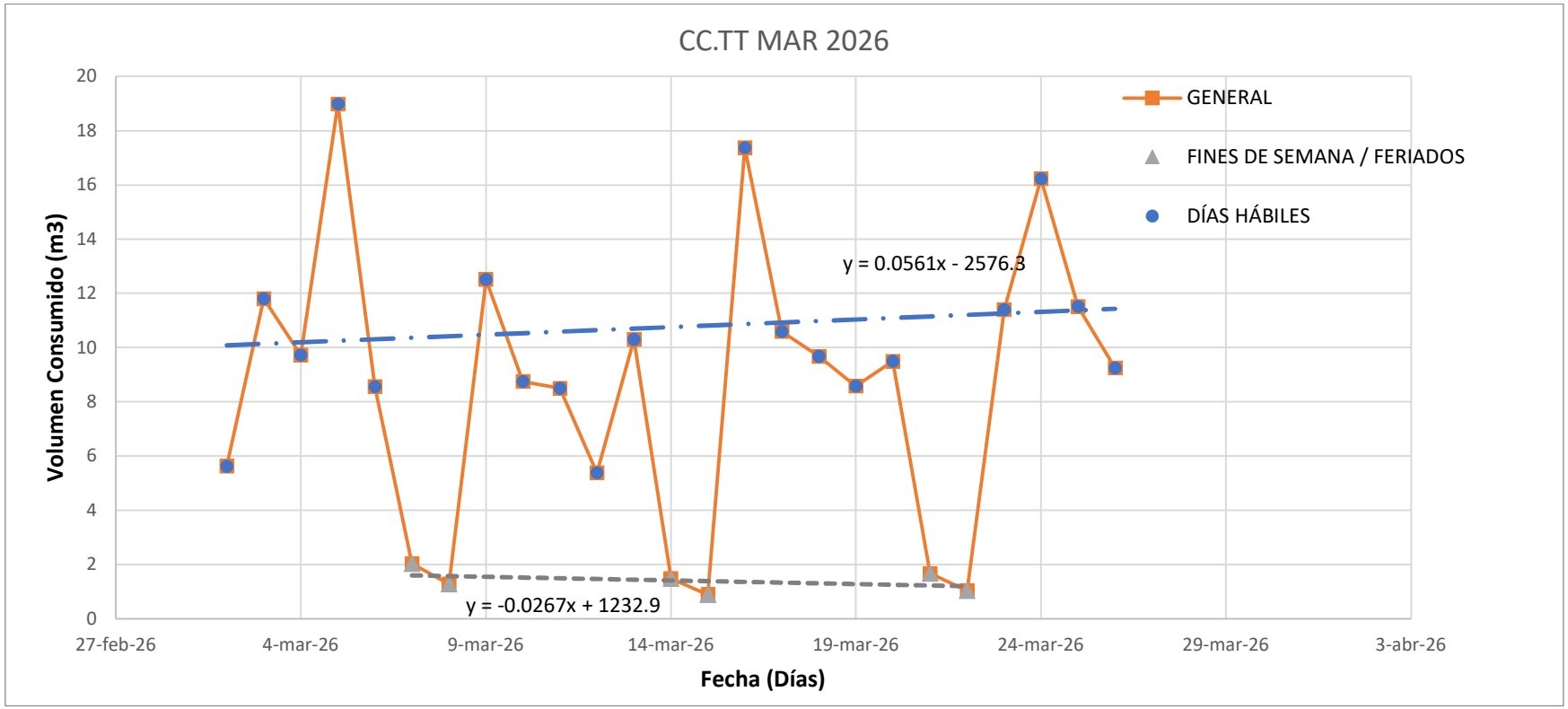


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.1.6 *CC.TT.*

Figura 11

Volumen diario de agua potable — CC.TT, marzo 2026



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.2 *Volumen Horario por Caudalímetro*

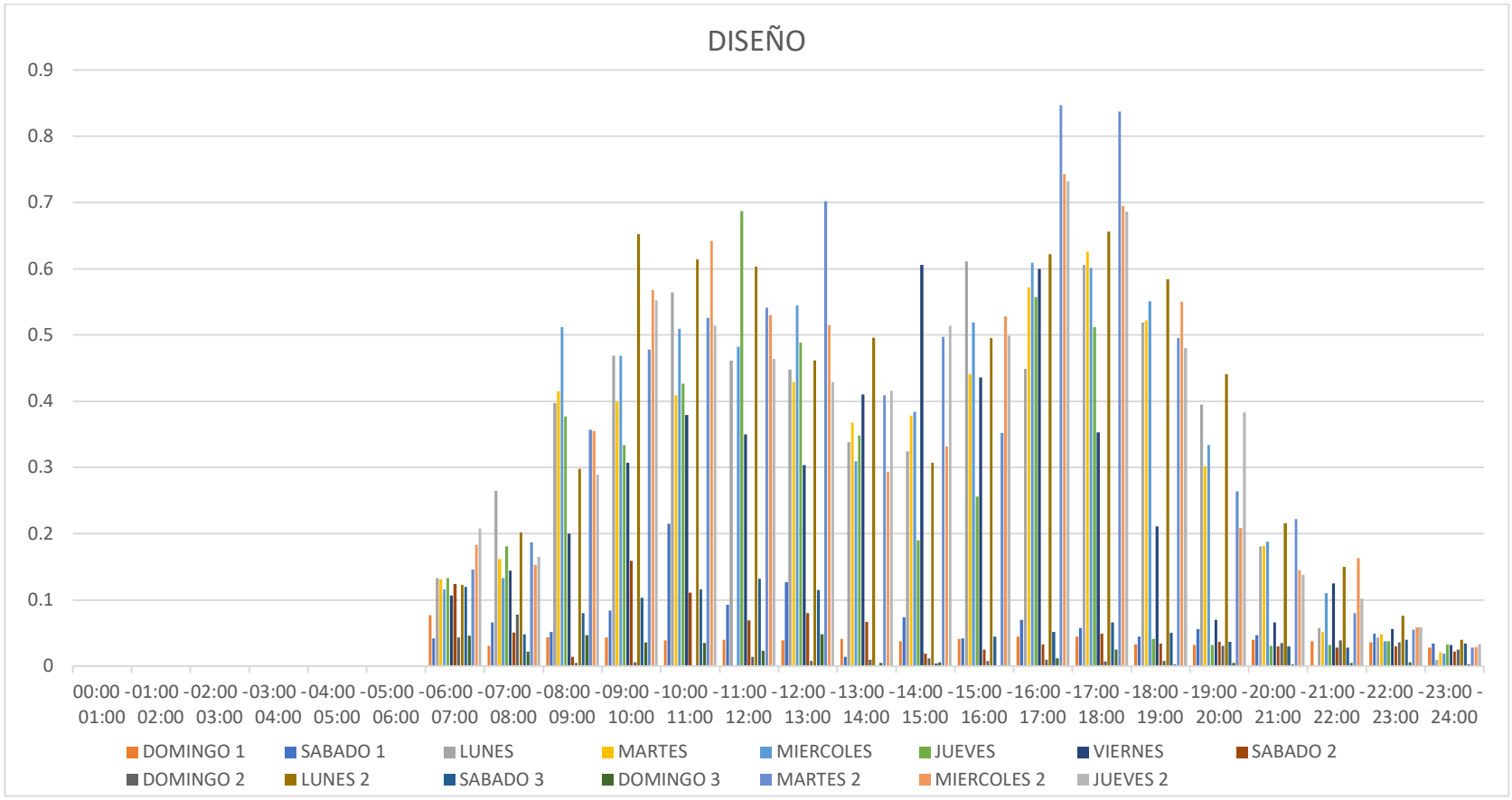
El análisis horario se realizó sobre un período de dos semanas representativas, limitación determinada por la capacidad de almacenamiento local de los caudalímetros, que sobreescriben los registros horarios cada siete días. Cabe señalar que, en el campus universitario, a partir de las 00:00 h se interrumpe el suministro mediante el cierre de válvulas y el apagado de bombas, reanudándose a las 6:00 h con la apertura de las mismas. Esta condición operativa es visible en los perfiles horarios presentados a continuación, donde el flujo registrado es nulo durante ese intervalo nocturno.

2.2.2.1 *Facultad de diseño.*

Los datos del edificio de la Facultad de Diseño evidencian que el período de mayor consumo se concentra en la franja horaria de 17:00 a 19:00.

Figura 12

Perfil de consumo horario — Facultad de Diseño (vista general, dos semanas)

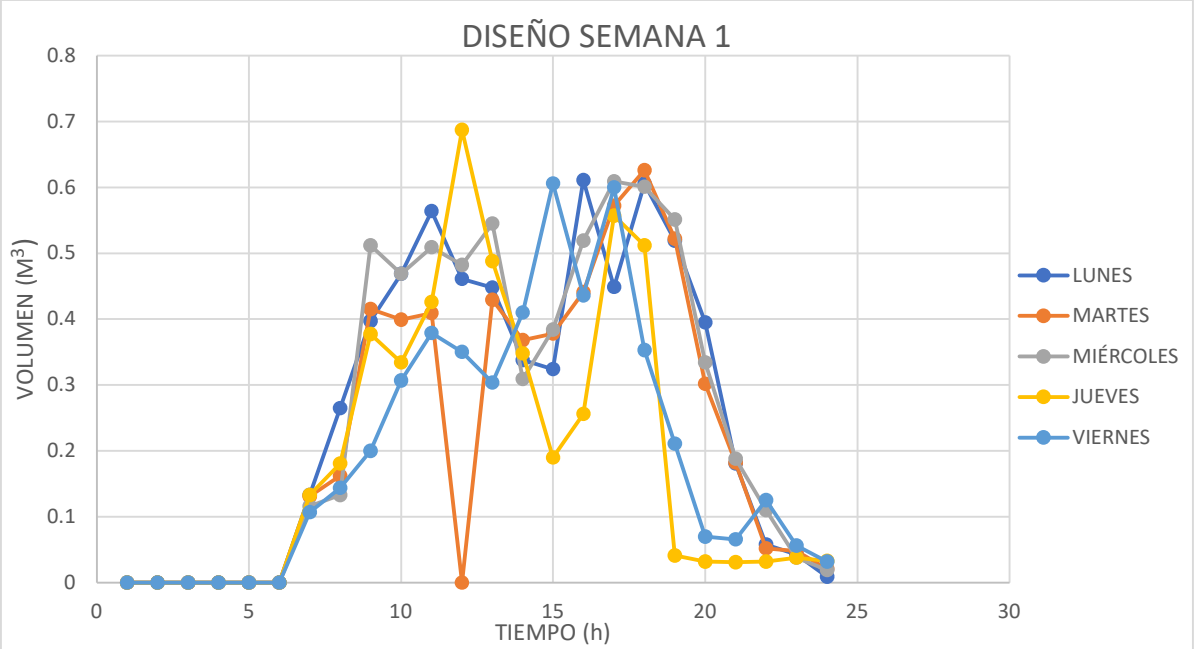


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Con base en estos registros, se calcularon los volúmenes totales en dos intervalos: de 6:00 a 14:00 y de 14:00 a 20:00, separando los días hábiles de ambas semanas de los fines de semana.

Figura 13

Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, días hábiles semana 1



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 6

Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, Semana 1

	DISEÑO SEMANA 1							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	3.075	2.313	3.075	2.974	2.2006	13.6376	**51.96%**	2.72752

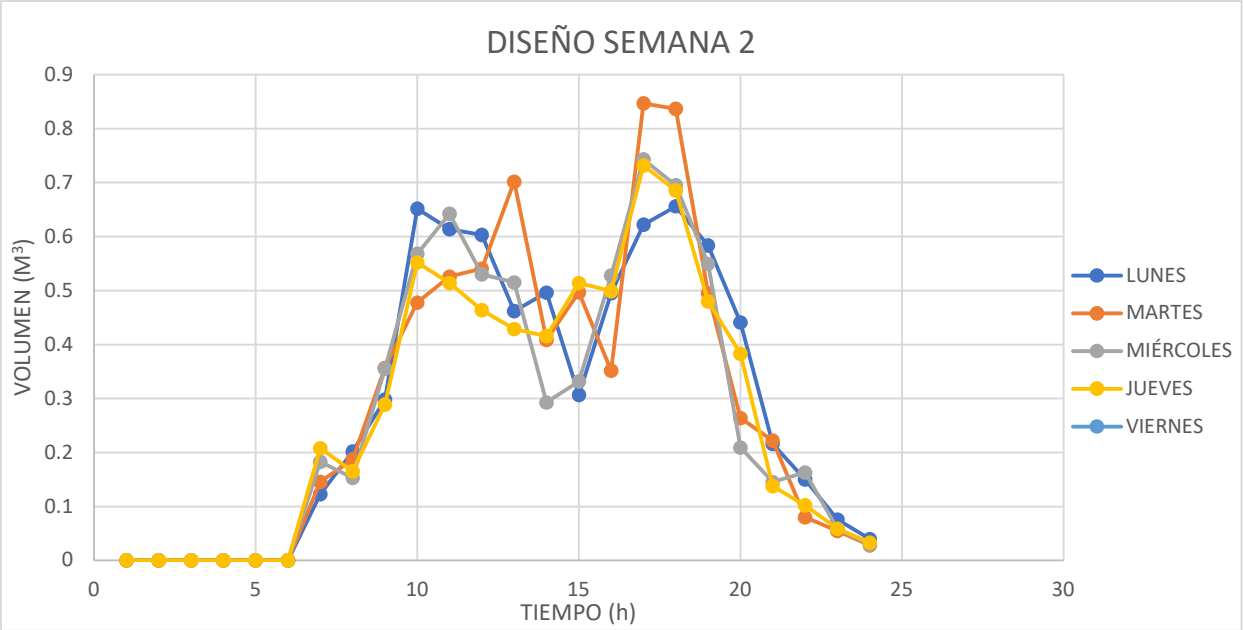
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	2.904	2.841	2.998	1.588	2.276	12.607	**48.04%**	2.5214
						26.2446		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los mismos cálculos se realizaron para la segunda semana, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 14

Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, días hábiles semana 2



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Tabla 7

Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, Semana 2

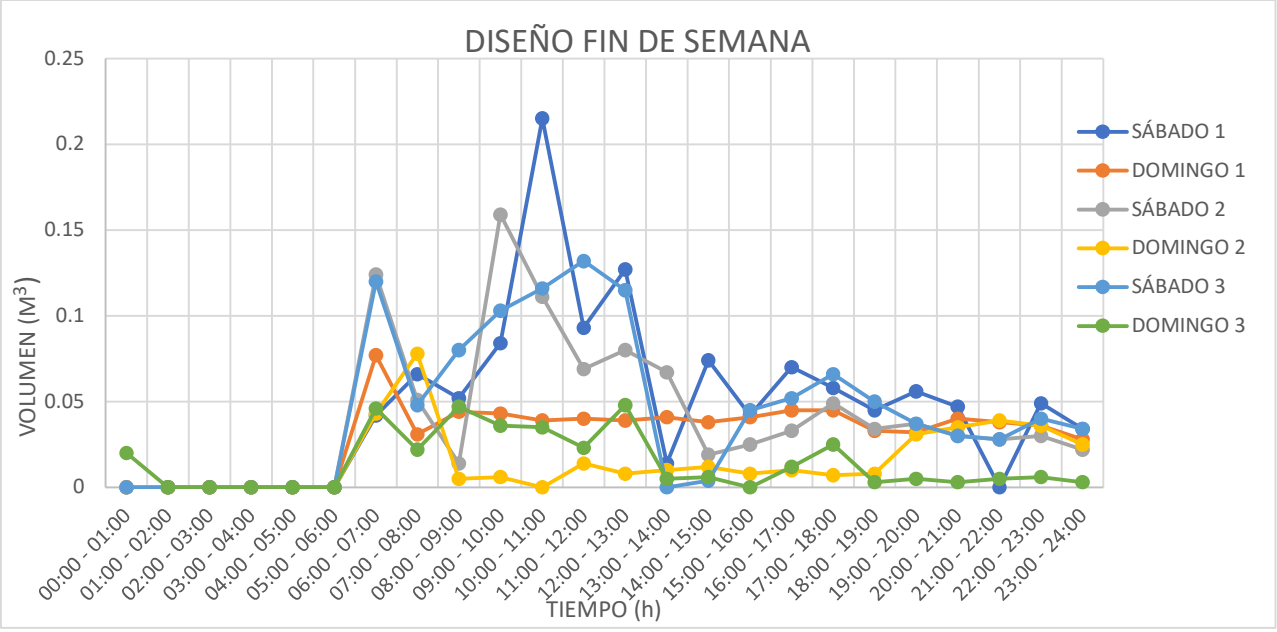
	DISEÑO SEMANA 2						
	LUNES	**MARTES**	**MIÉRCOLES**	**JUEVES**	**TOTAL**	**%**	**PROMEDIO**
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	3.45	3.346	3.239	3.037	13.072	**50.63%**	3.268
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	3.105	3.292	3.057	3.294	12.748	**49.37%**	3.187
					25.82		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Para los fines de semana, dado el menor volumen de consumo registrado, se calculó el promedio horario y el máximo volumen consumido en cada jornada, cuyos resultados se presentan a continuación:

Figura 15

Distribución horaria del consumo — Facultad de Diseño, fines de semana



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Tabla 8

Consumo en fines de semana — Facultad de Diseño

	DISEÑO FINES DE SEMANA					
	SÁBADO 1	**DOMINGO 1**	**SÁBADO 2**	**DOMINGO 2**	**SÁBADO 3**	**DOMINGO 3**
PROMEDIO	0.069	0.041	0.055	0.022	0.065	0.019
MÁXIMO HORARIO	0.215	0.077	0.159	0.078	0.132	0.048

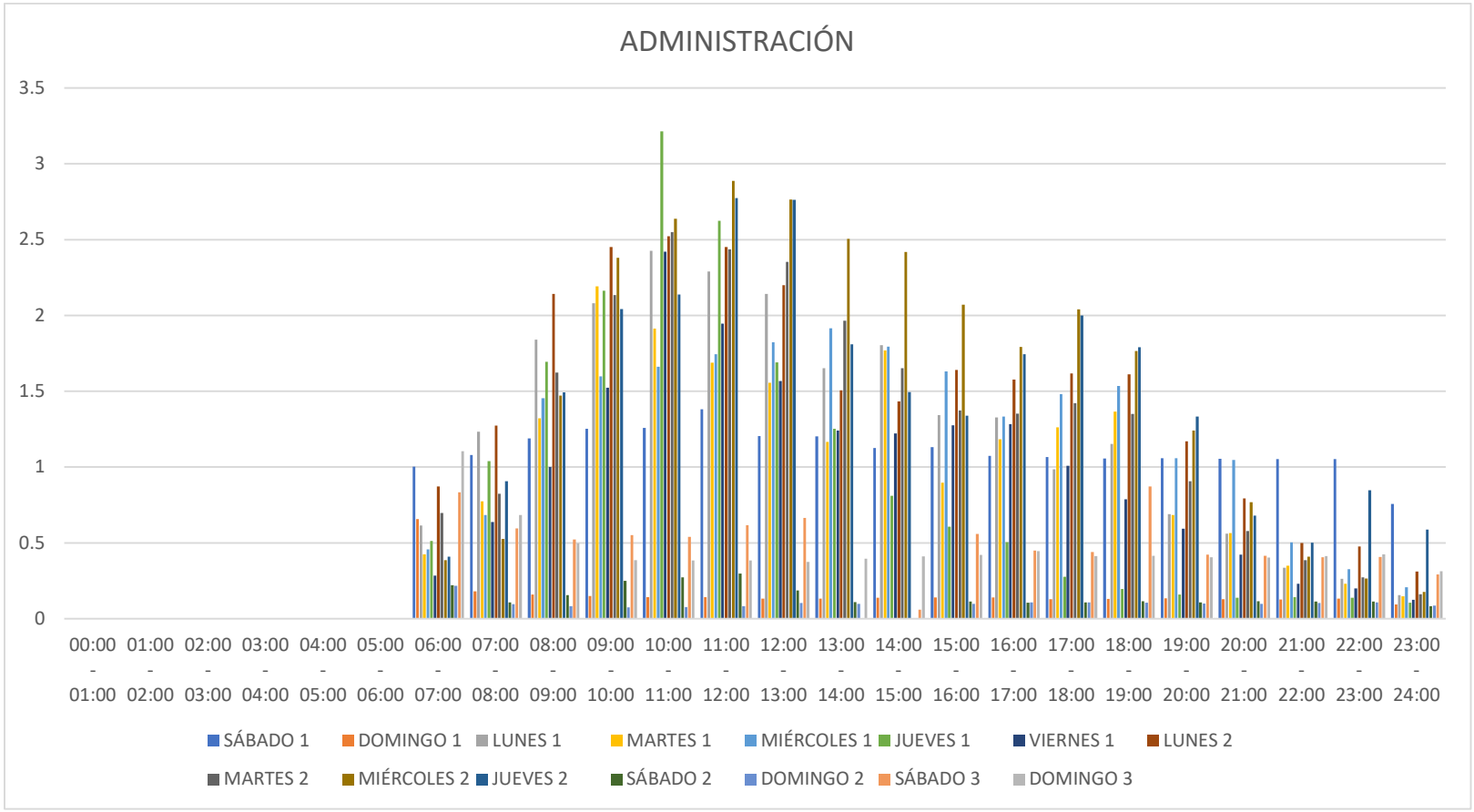
Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.2.2 *Facultad de Administración.*

El caudalímetro de la Facultad de Administración registra también el consumo del auditorio principal y de los edificios administrativos de la universidad, incluidas secretaría y áreas de gestión institucional. El análisis horario revela que el período de mayor demanda se registra entre las 10:00 y las 13:00.

Figura 16

Perfil de consumo horario — Facultad de Administración (vista general)

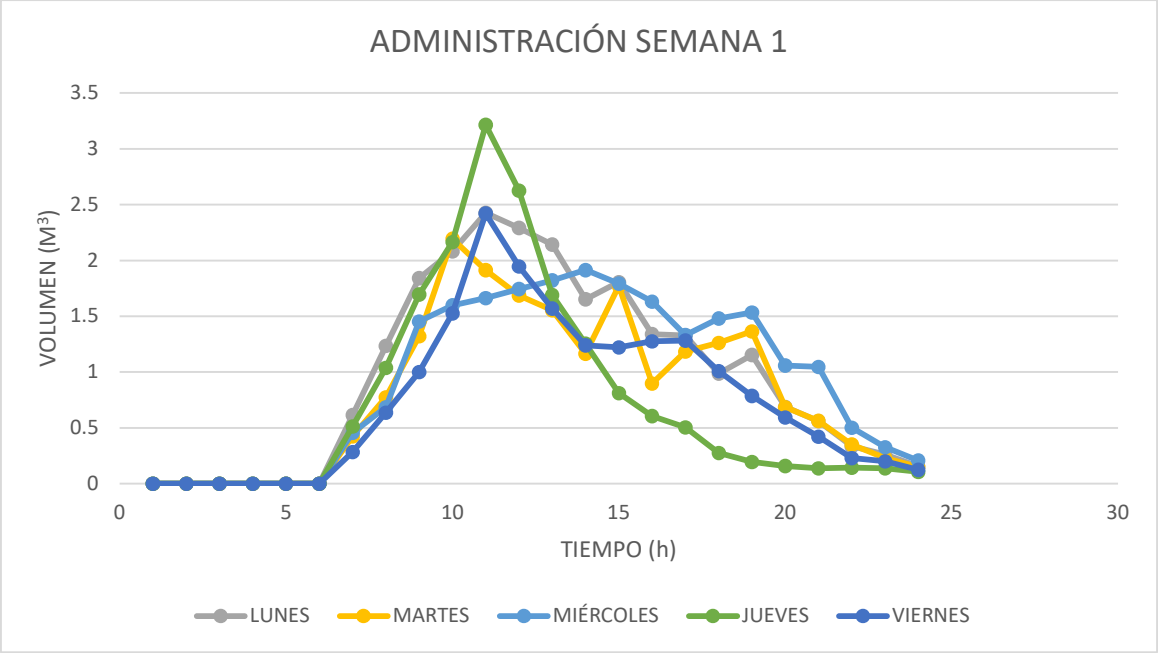


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los datos se procesaron en los mismos intervalos horarios utilizados en la sección anterior: de 6:00 a 14:00 y de 14:00 a 20:00.

Figura 17

Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, días hábiles semana 1



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 9

Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, Semana 1

	ADMINISTRACIÓN SEMANA 1							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	14.278	11.036	11.336	14.195	10.621	61.466	**65.75%**	12.2932
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	7.302	7.161	8.831	2.552	6.17	32.016	**34.25%**	6.4032

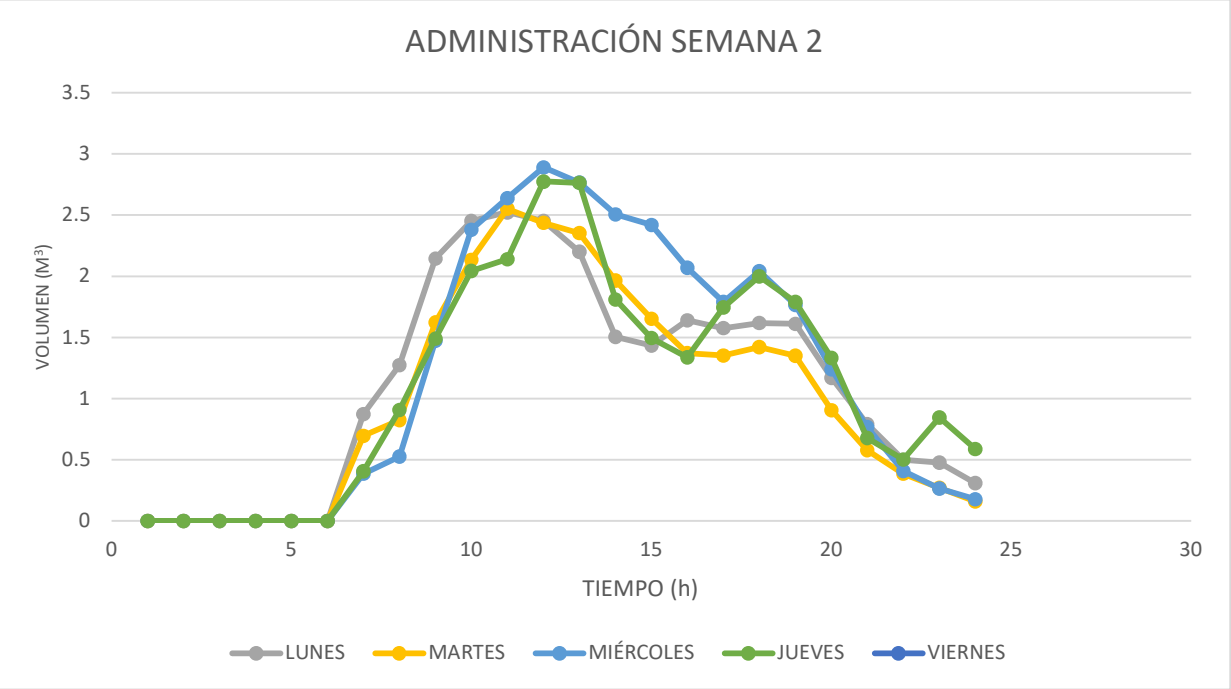
93.482

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los mismos cálculos se realizaron para la segunda semana, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 18

Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, días hábiles semana 2



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 10

Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, Semana 2

	ADMINISTRACIÓN SEMANA 2						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	TOTAL	%	PROMEDIO

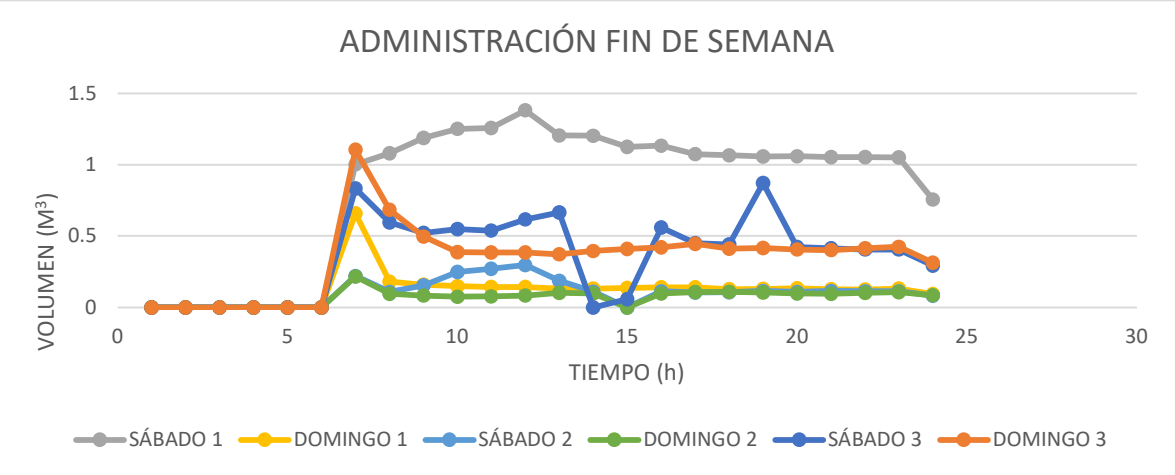
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	15.42	14.584	15.565	14.332	59.901	**61.10%**	14.97525
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	9.051	8.055	11.328	9.7	38.134	**38.90%**	9.5335
					98.035		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

En cuanto a los fines de semana, se calculó el promedio horario y el volumen máximo consumido por jornada:

Figura 19

Distribución horaria del consumo — Facultad de Administración, fines de semana



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Tabla 11

Consumo en fines de semana — Facultad de Administración

	ADMINISTRACIÓN FINES DE SEMANA					
	SÁBADO 1	DOMINGO 1	SÁBADO 2	DOMINGO 2	SÁBADO 3	DOMINGO 3

PROMEDIO	1.111	0.166	0.151	0.102	0.509	0.460
MÁXIMO HORARIO	1.382	0.658	0.297	0.217	0.872	1.105

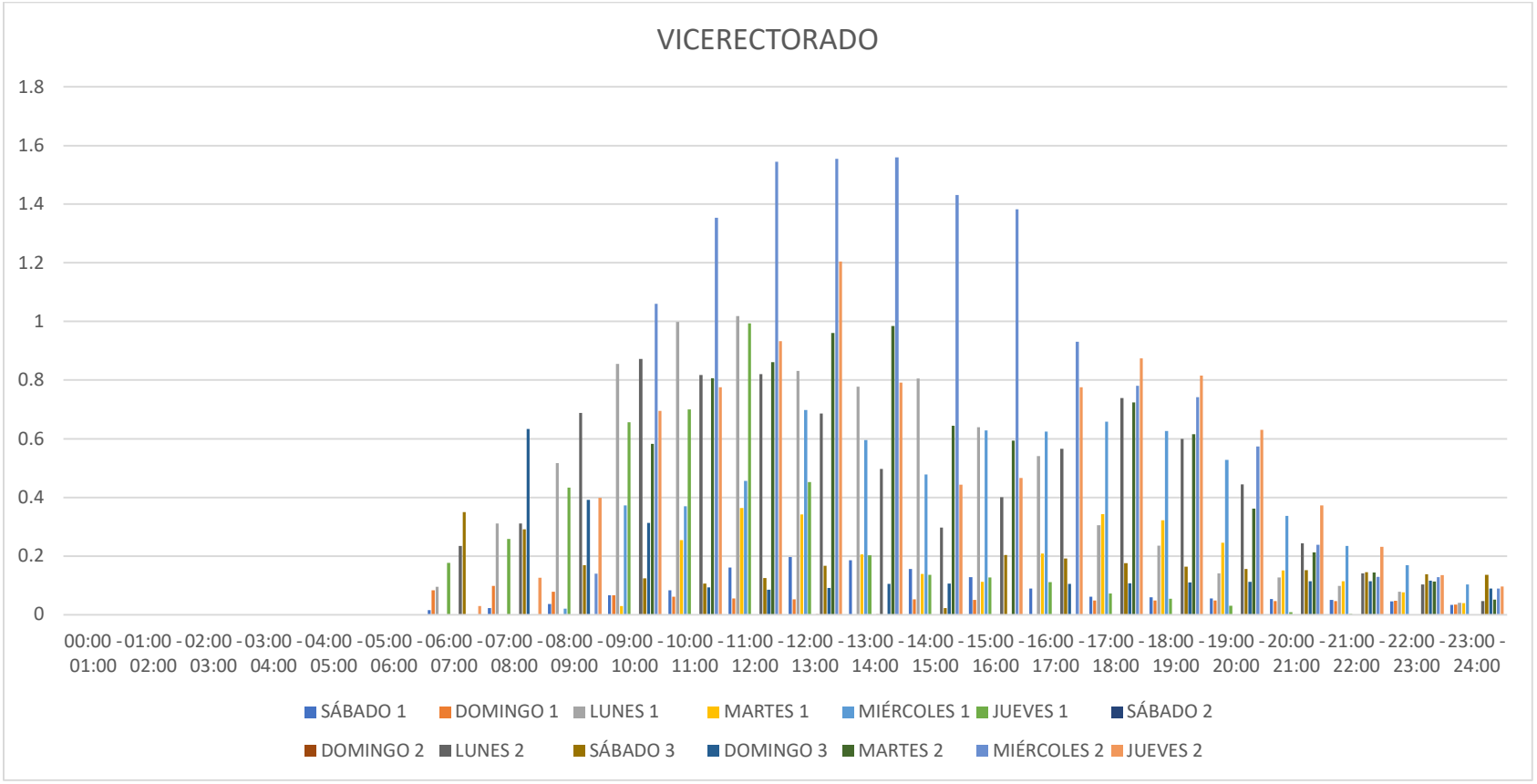
Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.2.3 *Vicerrectorado.*

El edificio del Vicerrectorado presenta su franja de mayor consumo entre las 11:00 y las 14:00, lo que es coherente con los horarios de atención administrativa y el flujo de personas en este sector.

Figura 20

Perfil de consumo horario — Vicerrectorado (vista general)

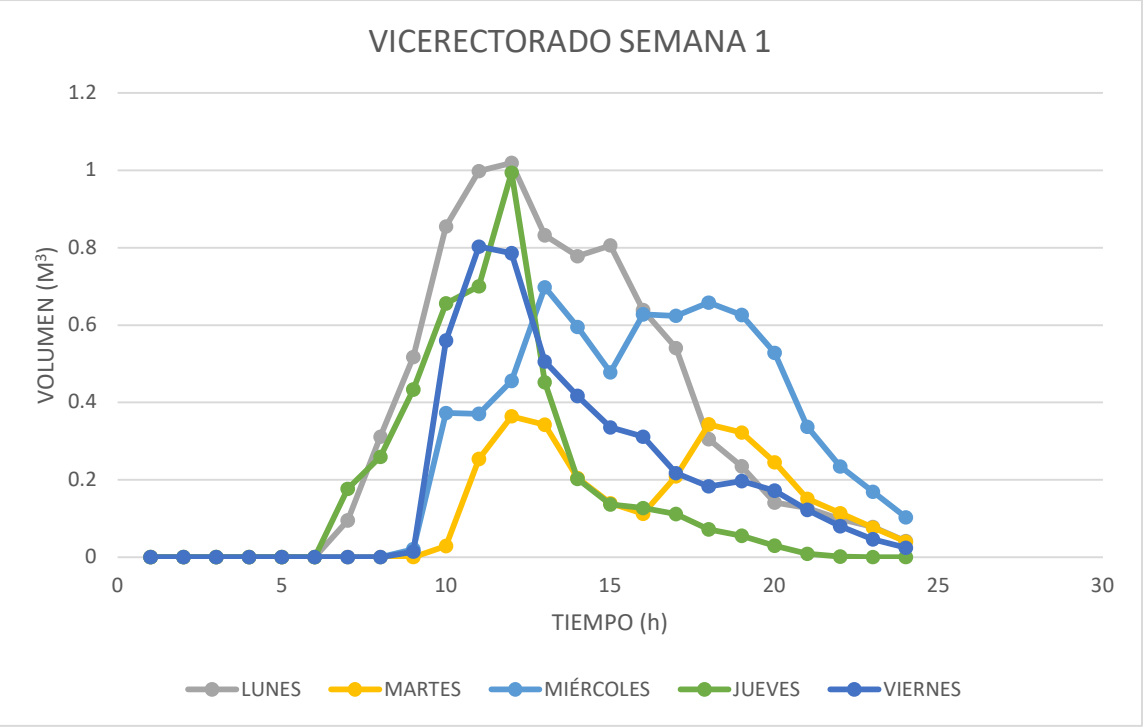


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Aplicando el mismo criterio de análisis en los intervalos de 6:00-14:00 y 14:00-20:00, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 21

Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, días hábiles semana 1



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 12

Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, Semana 1

	VICERRECTORADO SEMANA 1							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	5.405	1.194	2.512	3.873	3.086	16.07	**62.79%**	3.214

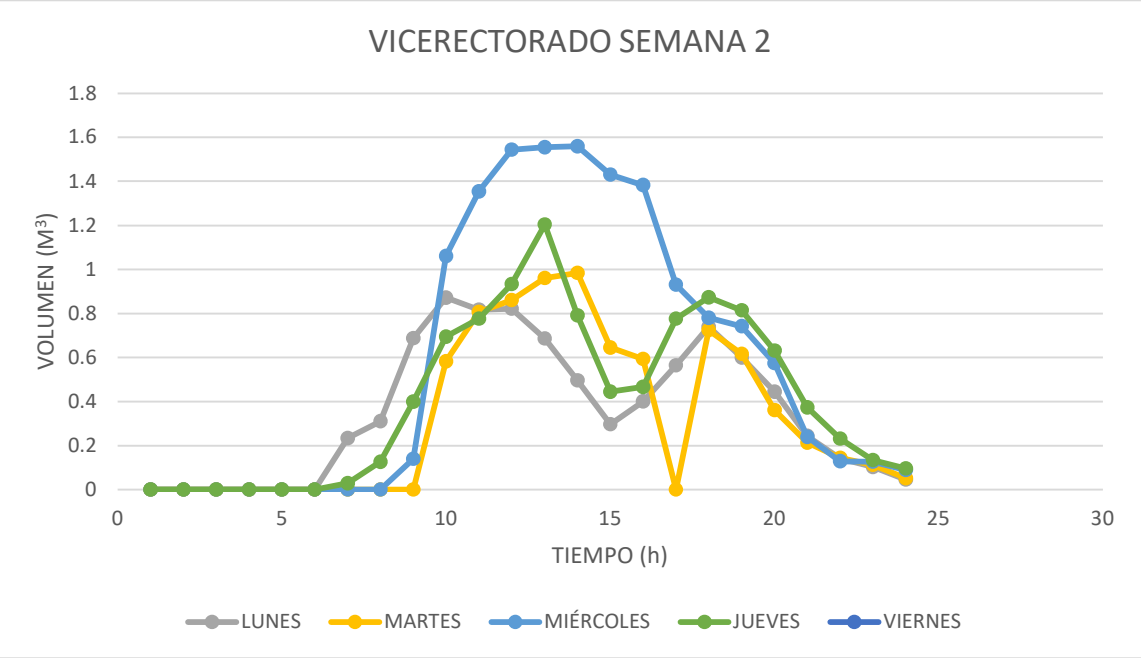
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	2.667	1.37	3.542	0.531	1.415	9.525	**37.21%**	1.905
						25.595		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los mismos cálculos se realizaron para la segunda semana, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 22

Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, días hábiles semana 2



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 13

Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, Semana 2

	VICERRECTORADO SEMANA 2						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	TOTAL	%	PROMEDIO

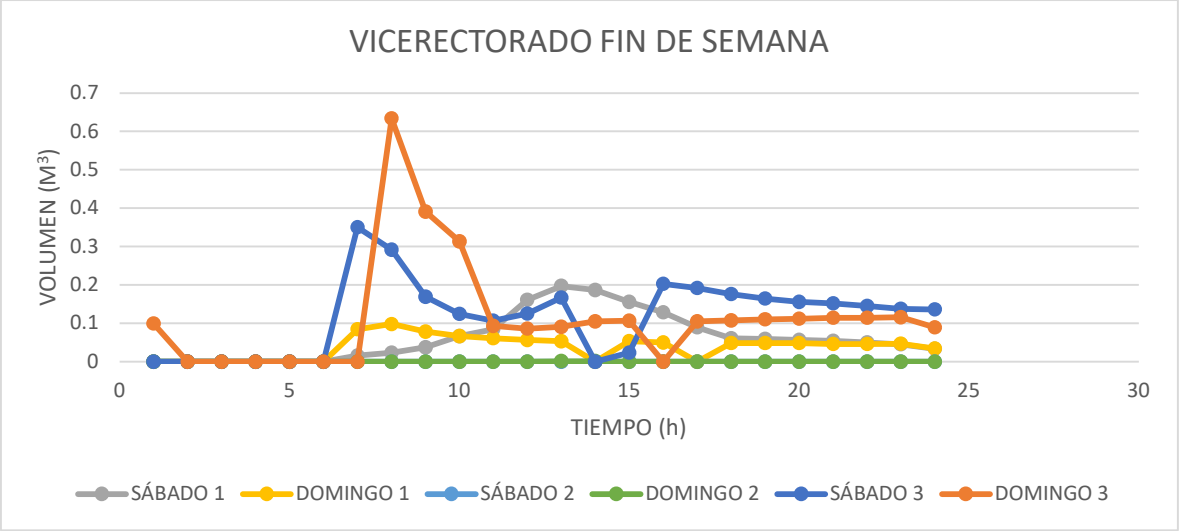
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	4.927	4.196	7.212	4.954	21.289	**57.35%**	5.32225
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	3.047	2.939	5.841	4.006	15.833	**42.65%**	3.95825
					37.122		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

En cuanto a los fines de semana, se calculó el promedio horario y el volumen máximo consumido por jornada:

Figura 23

Distribución horaria del consumo — Vicerrectorado, fines de semana



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 14

Consumo en fines de semana — Vicerrectorado

	VICERRECTORADO FINES DE SEMANA

	SÁBADO 1	DOMINGO 1	SÁBADO 2	DOMINGO 2	SÁBADO 3	DOMINGO 3
PROMEDIO	0.083	0.057	0.000	0.001	0.166	0.164
MÁXIMO HORARIO	0.197	0.098	0.000	0.001	0.350	0.634

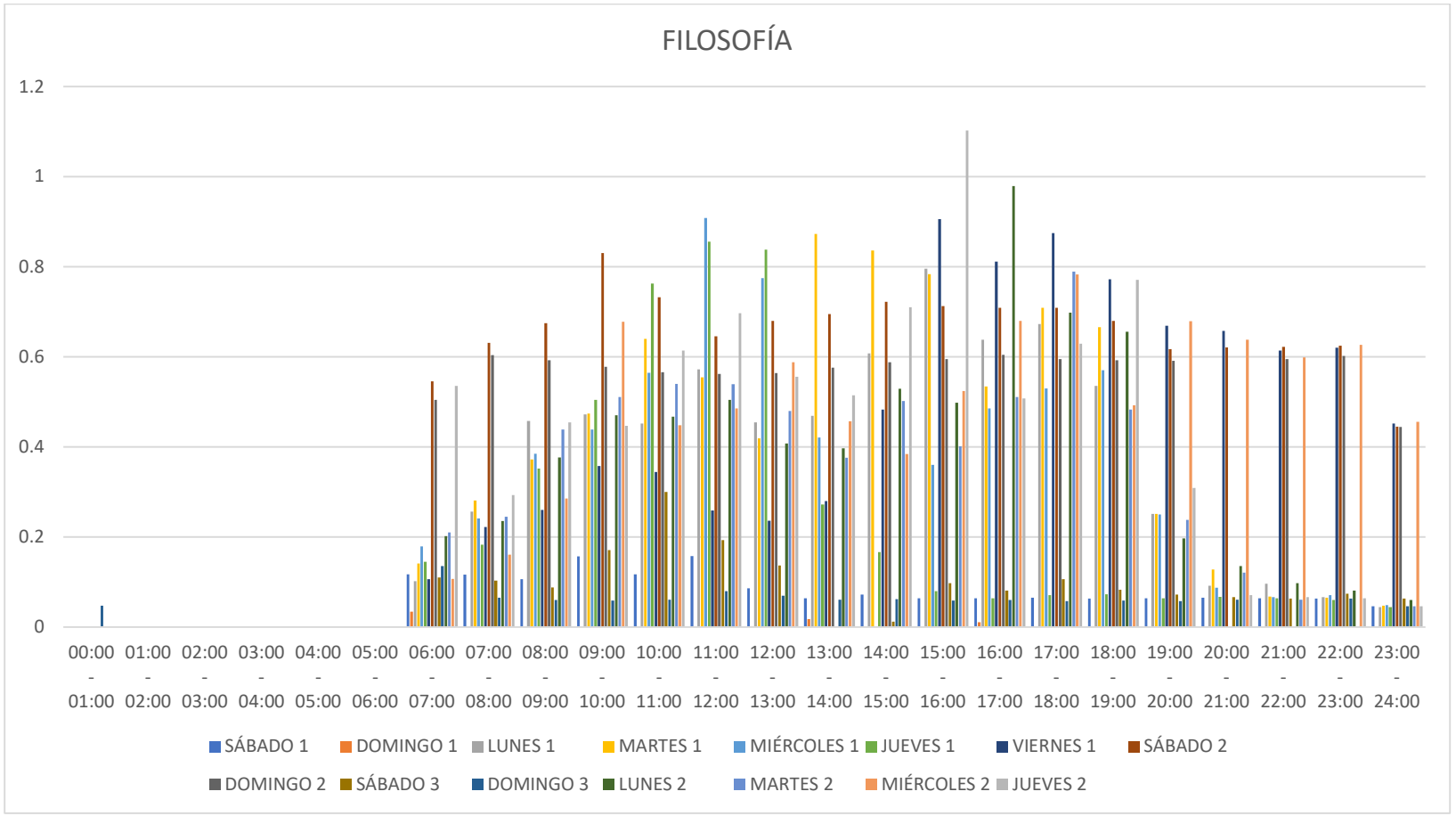
Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.2.4 *Facultad de Filosofía.*

La Facultad de Filosofía presenta un patrón diferenciado respecto a los otros edificios: el pico de mayor demanda ocurre entre las 15:00 y las 18:00, aunque en días de clases el consumo se mantiene elevado durante toda la tarde, lo que refleja el funcionamiento vespertino predominante de esta unidad académica.

Figura 24

Perfil de consumo horario — Facultad de Filosofía (vista general)

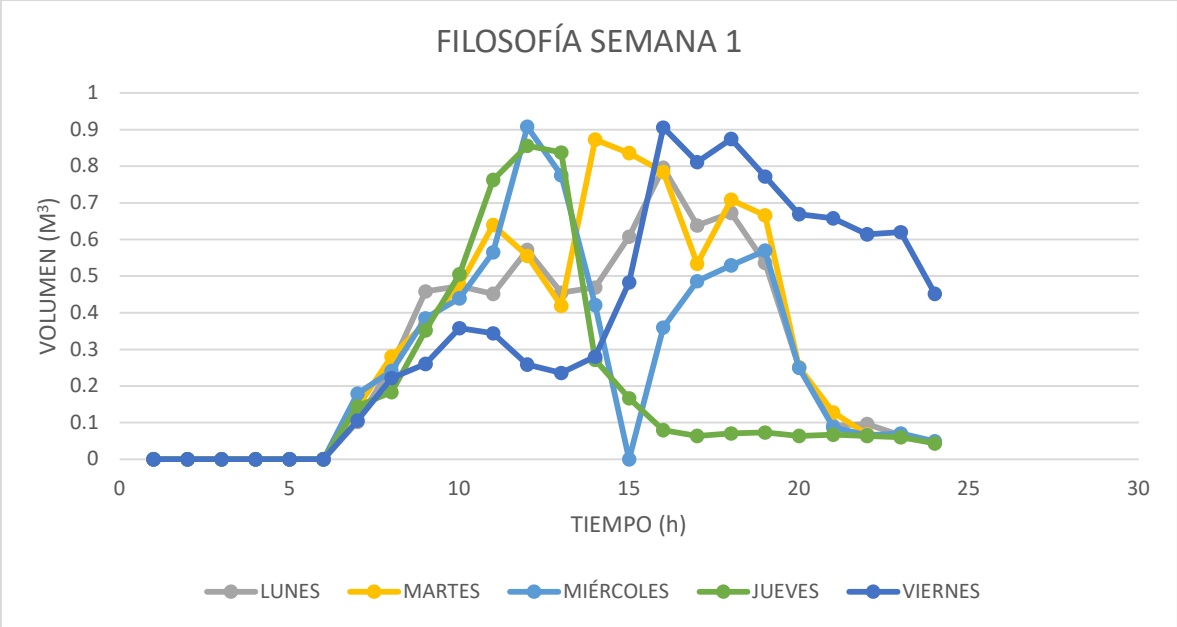


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Aplicando el mismo criterio de análisis en los intervalos de 6:00-14:00 y 14:00-20:00, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 25

Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, días hábiles semana 1



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 15

Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, Semana 1

	FILOSOFÍA SEMANA 1							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	3.236	3.755	3.913	3.914	2.065	16.883	**53.77%**	3.3766
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	3.502	3.78	2.196	0.519	4.516	14.513	**46.23%**	2.9026

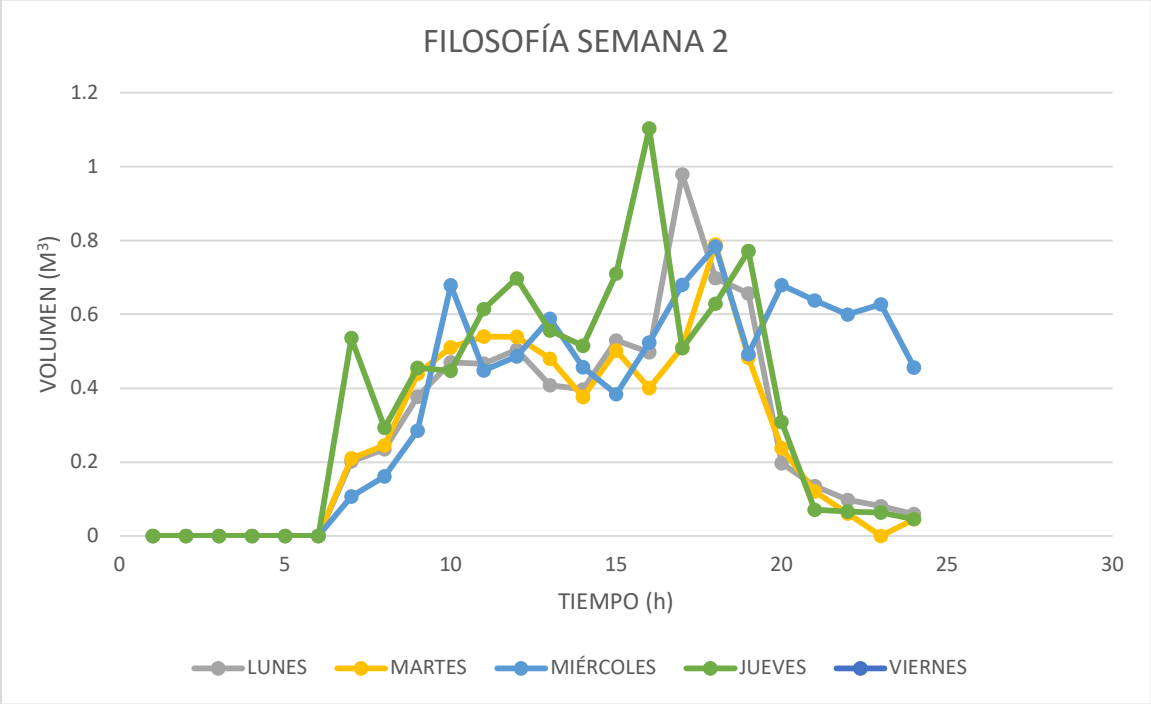
31.396

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los mismos cálculos se realizaron para la segunda semana, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 26

Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, días hábiles semana 2



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 16

Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, Semana 2

	FILOSOFÍA SEMANA 2						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	TOTAL	%	PROMEDIO

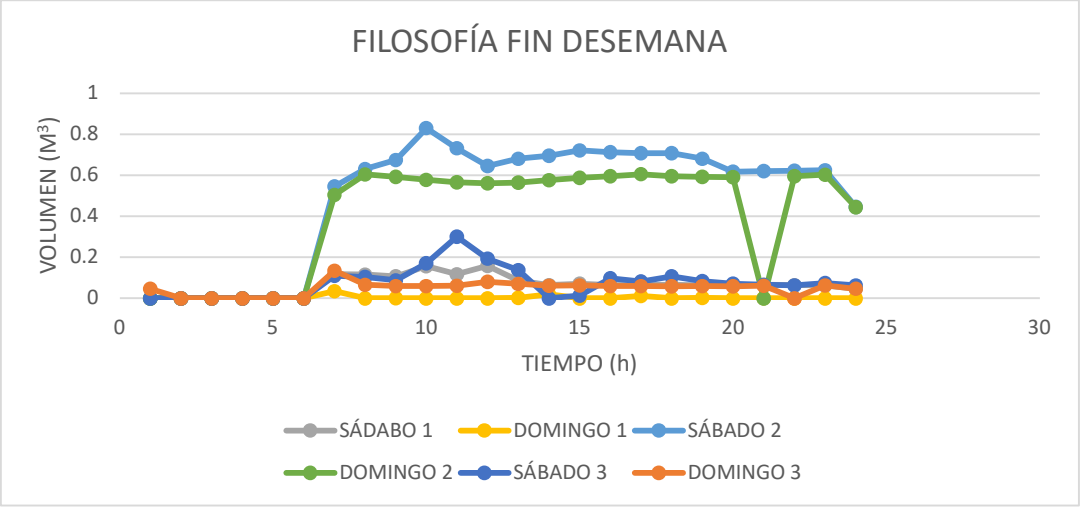
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	3.06	3.34	3.21	4.113	13.723	**49.41%**	3.43075
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	3.557	2.924	3.542	4.03	14.053	**50.59%**	3.51325
					27.776		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

En cuanto a los fines de semana, se calculó el promedio horario y el volumen máximo consumido por jornada:

Figura 27

Distribución horaria del consumo — Facultad de Filosofía, fines de semana



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 17

Consumo en fines de semana — Facultad de Filosofía

	FILOSOFÍA FINES DE SEMANA					
	SÁBADO 1	DOMINGO 1	SÁBADO 2	DOMINGO 2	SÁBADO 3	DOMINGO 3
PROMEDIO	0.086	0.086	0.661	0.574	0.107	0.065
MÁXIMO HORARIO	0.158	0.034	0.830	0.605	0.300	0.135

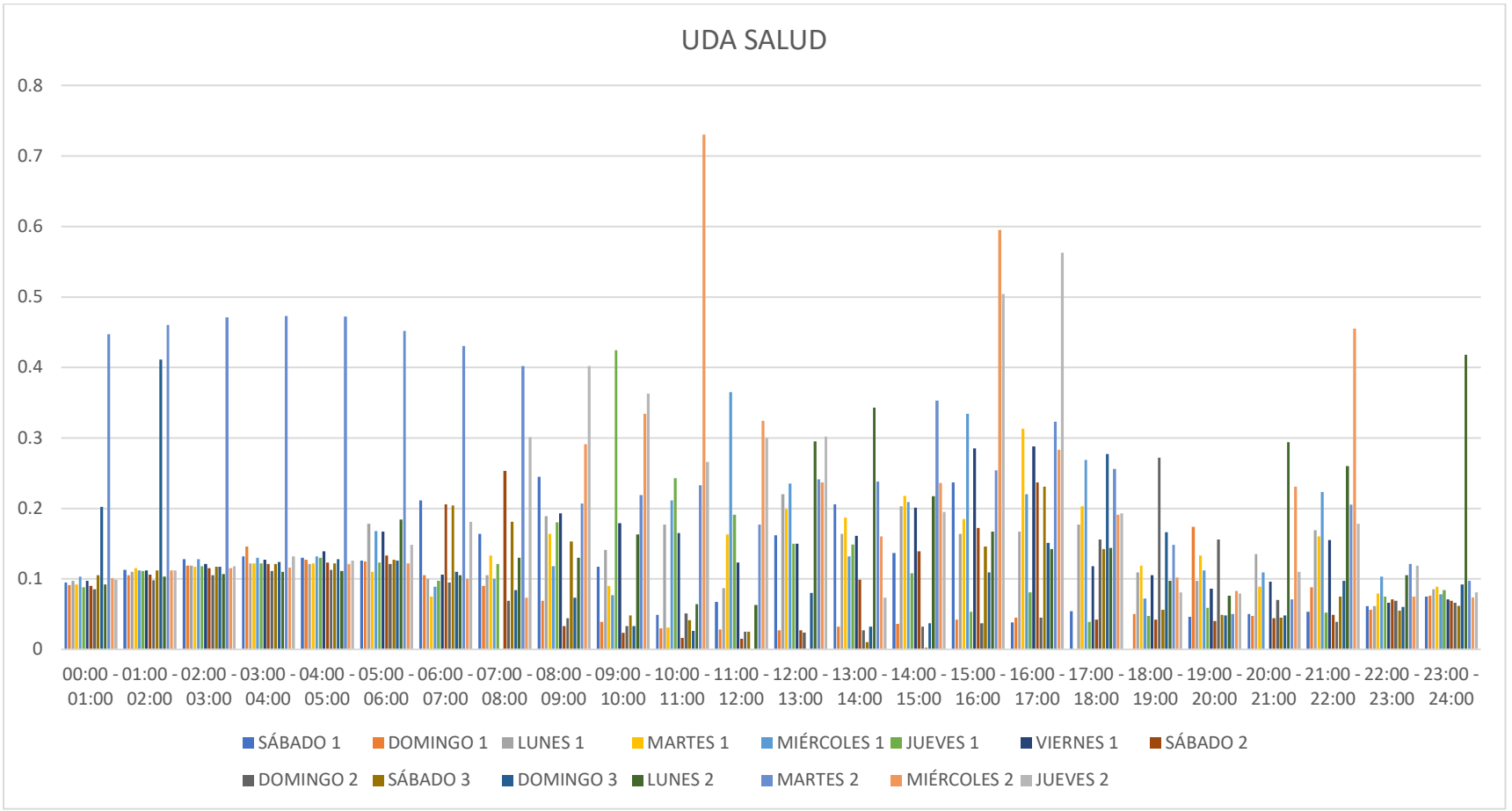
Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.2.5 *Edificio de UDA Salud.*

El edificio de UDA Salud registra su mayor demanda hídrica entre las 10:00 y las 13:00.

Figura 28

Perfil de consumo horario — UDA Salud (vista general)

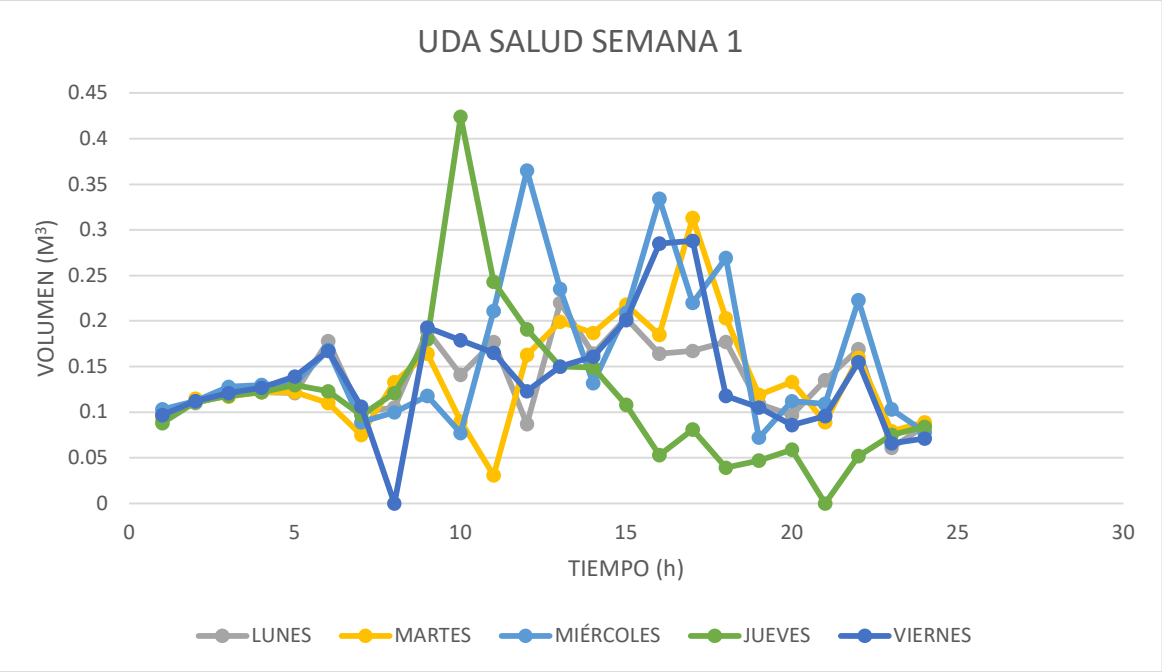


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Aplicando el mismo criterio de análisis en los intervalos de 6:00-14:00 y 14:00-20:00, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 29

Distribución horaria del consumo — UDA Salud, días hábiles semana 1



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 18

Distribución horaria del consumo — UDA Salud, Semana 1

	UDA SALUD SEMANA 1							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	1.183	1.042	1.327	1.555	1.077	6.184	**56.43%**	1.2368

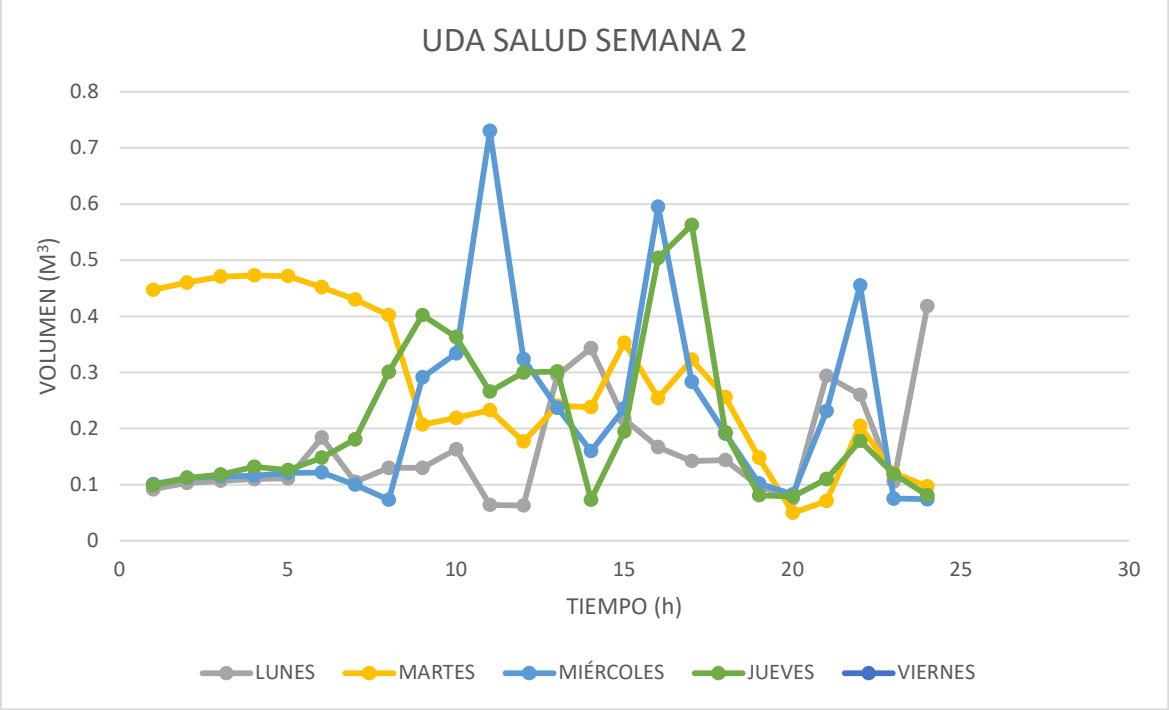
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	0.917	1.171	1.216	0.387	1.083	4.774	**43.57%**	0.9548
						10.958		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los mismos cálculos se realizaron para la segunda semana, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 30

Distribución horaria del consumo — UDA Salud, días hábiles semana 2



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 19

Distribución horaria del consumo — UDA Salud, Semana 2

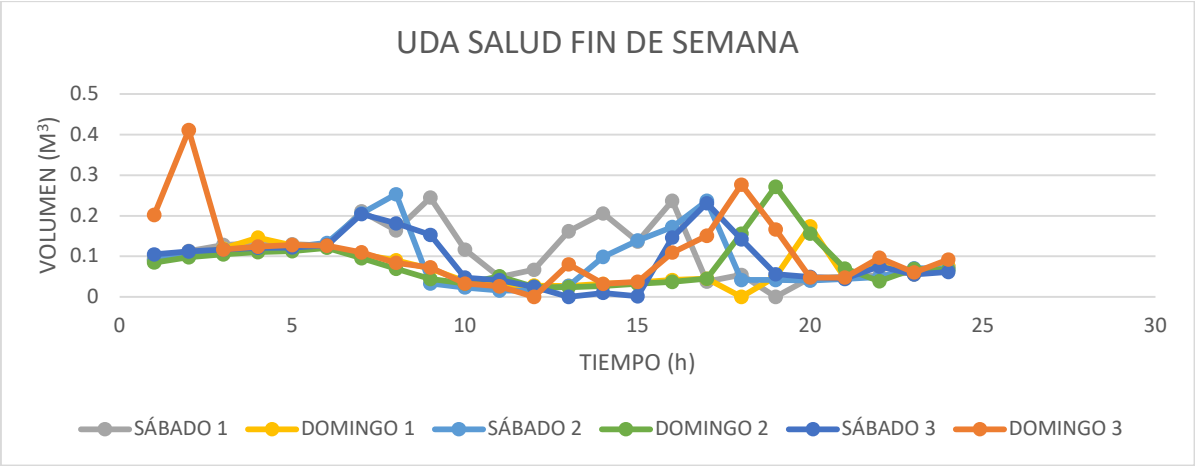
	UDA SALUD SEMANA 2						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	1.293	2.147	2.249	2.188	7.877	**59.63%**	1.96925
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	0.843	1.384	1.49	1.615	5.332	**40.37%**	1.333
					13.209		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

En cuanto a los fines de semana, se calculó el promedio horario y el volumen máximo consumido por jornada:

Figura 31

Distribución horaria del consumo — UDA Salud, fines de semana



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 20

Consumo en fines de semana — UDA Salud

	UDA SALUD FINES DE SEMANA					
	SÁBADO 1	DOMINGO 1	SÁBADO 2	DOMINGO 2	SÁBADO 3	DOMINGO 3
PROMEDIO	0.117	0.076	0.094	0.081	0.097	0.114
MÁXIMO HORARIO	0.245	0.174	0.253	0.272	0.231	0.411

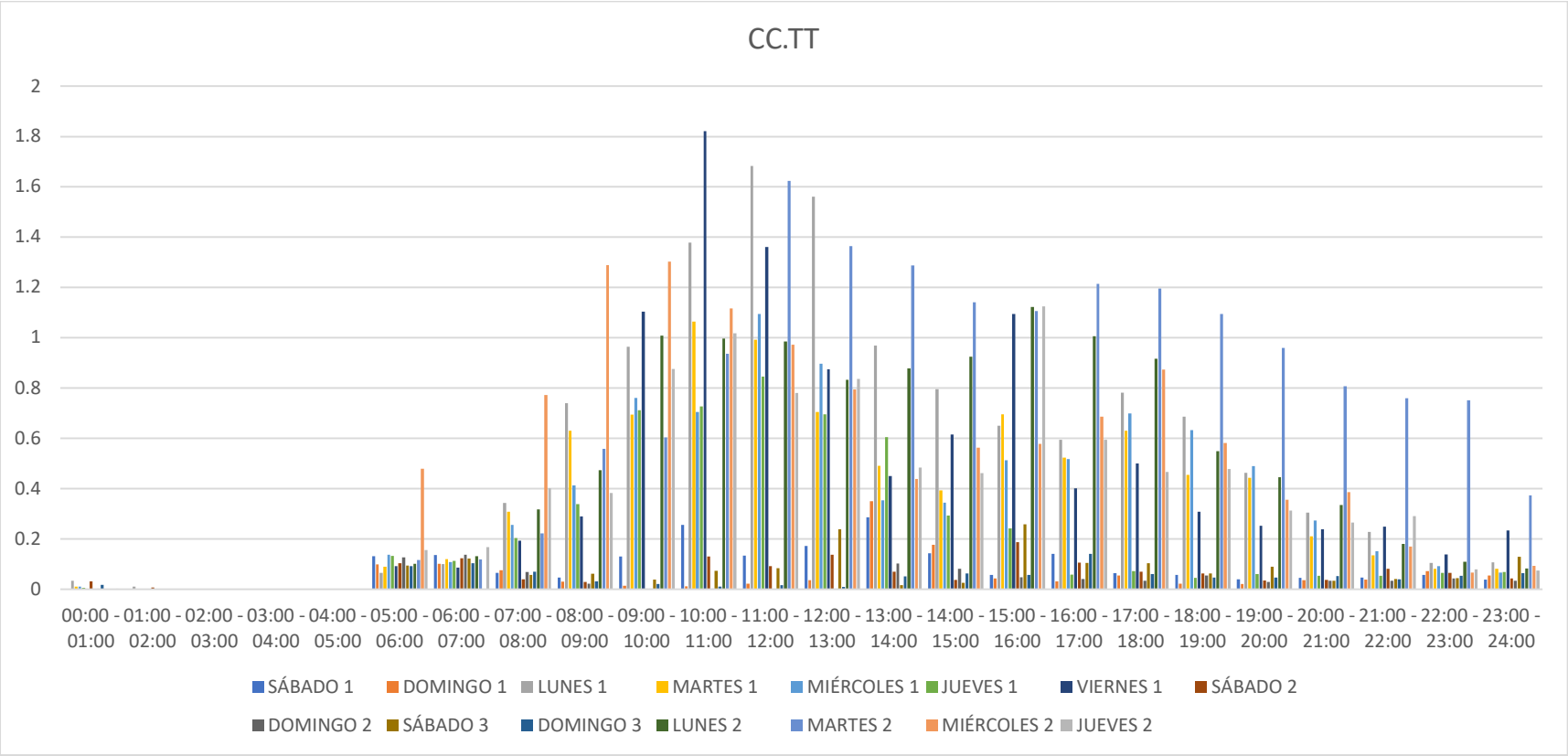
Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

2.2.2.6 *Edificio de CC.TT.*

El edificio de CC.TT. registra su mayor demanda hídrica entre las 10:00 y las 13:00.

Figura 32

Perfil de consumo horario — CC.TT (vista general)

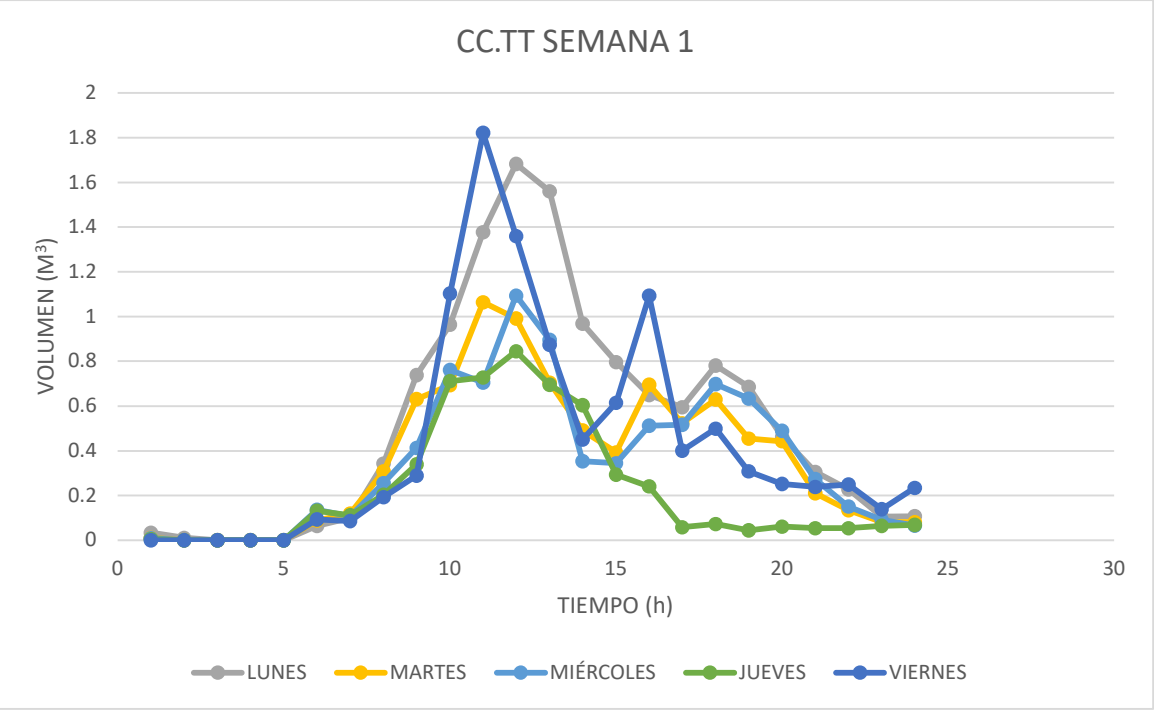


Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Aplicando el mismo criterio de análisis en los intervalos de 6:00-14:00 y 14:00-20:00, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 33

Distribución horaria del consumo — CC.TT, días hábiles semana 1



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 21

Distribución horaria del consumo — CC.TT, Semana 1

	CC.TT SEMANA 1							
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	7.734	5.004	4.585	4.237	6.175	27.735	**66.08%**	5.547

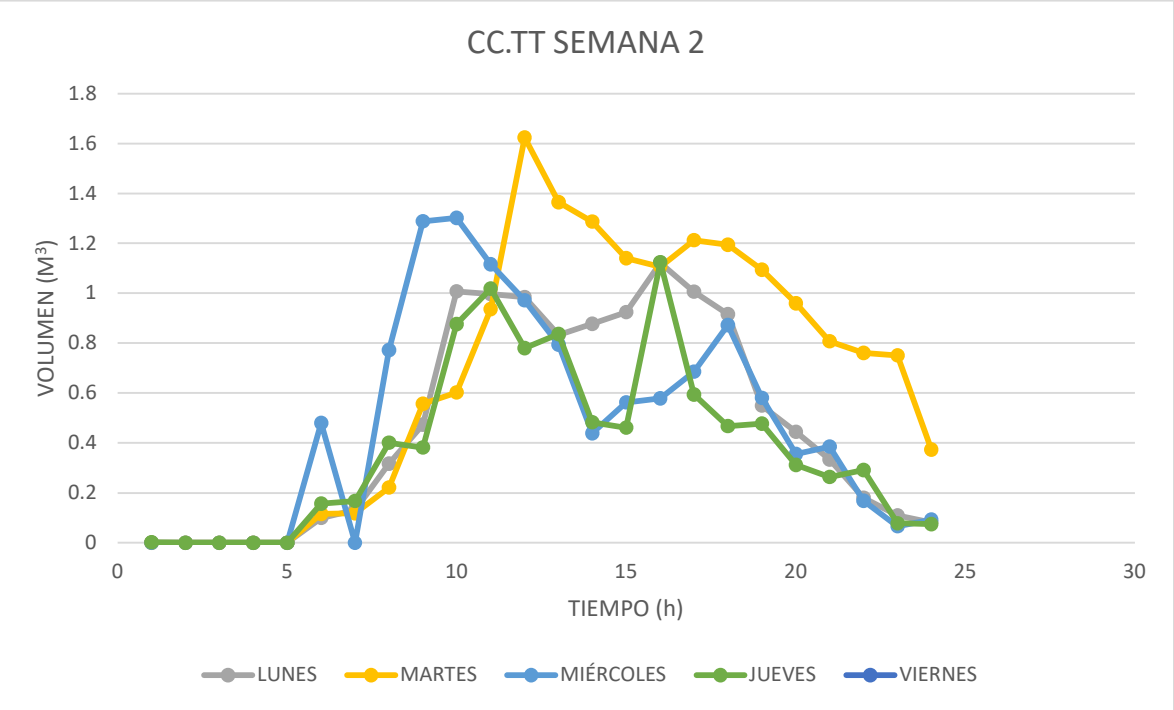
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	3.969	3.136	3.194	0.768	3.169	14.236	**33.92%**	2.8472
						41.971		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los mismos cálculos se realizaron para la segunda semana, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 34

Distribución horaria del consumo — CC.TT, días hábiles semana 2



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 22

Distribución horaria del consumo — CC.TT, Semana 2

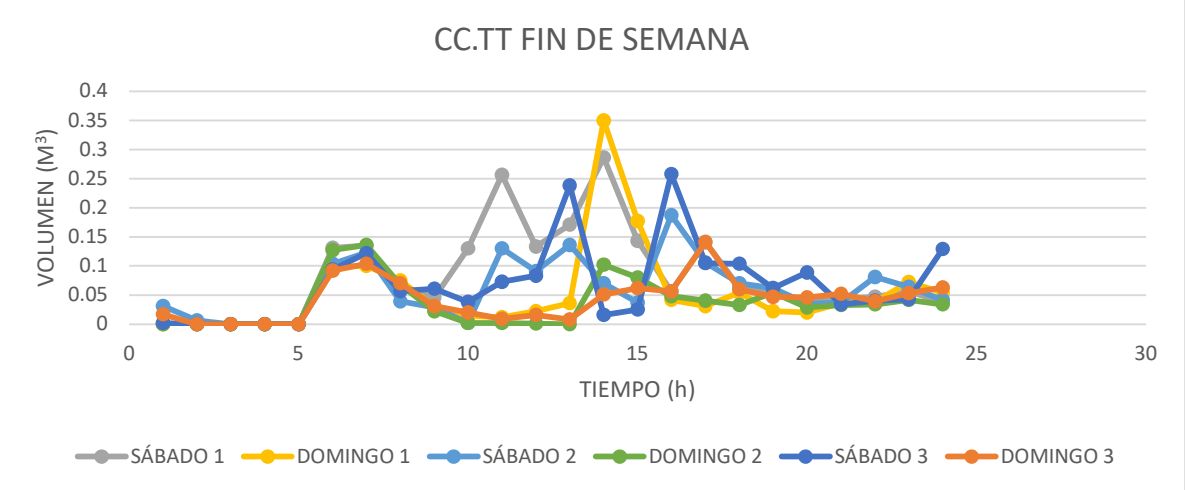
	CC.TT SEMANA 2						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	TOTAL	%	PROMEDIO
PERIODO 6 A.M - 2 P.M	5.622	6.711	6.683	4.943	23.959	**56.11%**	5.98975
PERIODO 2 P.M - 8 P.M	4.963	6.708	3.636	3.436	18.743	**43.89%**	4.68575
					42.702		

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

En cuanto a los fines de semana, se calculó el promedio horario y el volumen máximo consumido por jornada:

Figura 35

Distribución horaria del consumo — CC.TT, fines de semana



Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

Los resultados por período se presentan en las tablas siguientes:

Tabla 23

Consumo en fines de semana — CC.TT

	CC.TT FINES DE SEMANA					
	SÁBADO 1	DOMINGO 1	SÁBADO 2	DOMINGO 2	SÁBADO 3	DOMINGO 3
PROMEDIO	0.107	0.068	0.071	0.049	0.084	0.052
MÁXIMO HORARIO	0.286	0.350	0.187	0.136	0.258	0.141

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Unidad de Planeamiento de la Universidad del Azuay.

3 Discusión de Resultados

El presente capítulo integra y discute los hallazgos derivados del análisis de los datos de consumo de agua potable en la Universidad del Azuay, tanto de los medidores convencionales de ETAPA EP como de los caudalímetros inteligentes instalados en el campus. La discusión se estructura en torno a cuatro ejes temáticos: los patrones de consumo horario, la variación entre días hábiles y periodos no lectivos, el comportamiento diferenciado de cada edificio o sector, y la comparación del consumo de 2025 con el de años anteriores. Estos elementos proporcionan una base empírica para evaluar la eficiencia actual del uso del recurso hídrico y formular recomendaciones orientadas a su gestión sostenible.

3.1 Patrones de Consumo Horario

El análisis de los datos horarios registrados por los caudalímetros inteligentes revela un patrón de consumo marcadamente asimétrico a lo largo del día. En la mayoría de los edificios monitoreados, la jornada matutina (6:00-14:00) concentra entre el 50 % y el 60 % del volumen total diario, mientras que la jornada vespertina (14:00-20:00) representa entre el 40 % y el 50 % restante. Estos valores son consistentes con la estructura horaria de la actividad académica

de la universidad, donde la mayor concurrencia de estudiantes, docentes y personal administrativo ocurre en el turno de la mañana.

Se identificaron, no obstante, variaciones específicas según el edificio. La Facultad de Administración registró la mayor concentración matutina, con el 65,75 % del volumen semanal en la primera semana de análisis y el 61,10 % en la segunda, lo que refleja el predominio de la jornada de mañana en su actividad académica y administrativa. El edificio de CC.TT presentó valores similares (66,08 % y 56,11 %, semana 1 y 2 respectivamente), mientras que el Vicerrectorado registró 62,79 % y 57,35 %. En contraste, la Facultad de Diseño mostró la distribución más equilibrada entre jornadas (51,96 % matutino en la semana 1 y 50,63 % en la semana 2), coherente con su perfil académico de turno vespertino. La Facultad de Filosofía presentó incluso una inversión del patrón en la segunda semana (49,41 % matutino frente a 50,59 % vespertino), y UDA Salud registró el 56,43 % de consumo matutino en la semana 1, reflejo de su funcionamiento como servicio de salud con atención preferentemente matutina. Estas diferencias reflejan las particularidades funcionales de cada unidad académica o administrativa y son determinantes para el diseño de estrategias de regulación del suministro diferenciadas por sector (Zapata-Sierra et al., 2024).

3.2 Variación entre Días Hábiles y Periodos No Lectivos

Todos los caudalímetros analizados evidencian una diferencia significativa en los volúmenes de consumo entre los días hábiles (lunes a viernes) y los fines de semana o días de feriados. Durante los días de actividad académica regular, el consumo exhibe picos definidos alrededor del mediodía y en la tarde, aproximadamente entre las 17:00 y las 19:00, coincidiendo con los cambios de turno y los periodos de mayor concurrencia en los núcleos sanitarios. En términos cuantitativos, la Facultad de Diseño registró un promedio diario de 5,24 m^3 en días hábiles durante la primera semana analizada, mientras que los fines de semana presentaron consumos de entre 0,11 m^3 y 0,49 m^3/día —una reducción superior al 90 % respecto al promedio lectivo—. La Facultad de Administración, con 18,70 m^3/día promedio en días hábiles, redujo su consumo de manera análoga en fines de semana, aunque con promedios relativamente mayores dados los eventos institucionales que se realizan en las instalaciones del auditorio. El edificio de CC.TT registró 8,39 m^3/día en días hábiles (semana 1), con consumos en fines de semana de menos de 0,11 m^3/hora de promedio, lo que equivale a una fracción mínima del consumo lectivo. En los fines de semana, por el contrario, el volumen total diario

se reduce de manera considerable en todos los sectores y el patrón temporal pierde su estructura bimodal, tornándose más lineal y de menor magnitud.

La comparación entre sábados y domingos muestra que los primeros registran consumos sistemáticamente mayores: en la Facultad de Diseño, el promedio horario de los sábados (0,063 m³/hora) duplica al de los domingos (0,027 m³/hora); en la Facultad de Administración, la diferencia es aún más pronunciada, con promedios de 0,590 m³/hora los sábados frente a 0,243 m³/hora los domingos. Este fenómeno se atribuye parcialmente a la realización de actividades optativas, eventos institucionales y labores de mantenimiento que tienen lugar con mayor frecuencia durante las mañanas del sábado. Este hallazgo coincide con la metodología de balance hídrico propuesta por la IWA, que recomienda monitorear los consumos nocturnos y los periodos de baja demanda para identificar consumos base anómalos que puedan asociarse a fugas o usos no autorizados (Liemberger & Wyatt, 2018).

3.3 Análisis Diferenciado por Edificio o Sector

Si bien los patrones generales descritos en las secciones anteriores son comunes a la mayoría de los edificios monitoreados, cada sector presenta rasgos particulares que merecen una discusión específica.

3.3.1 *Facultad de Diseño*

El edificio de Diseño exhibe el pico de mayor consumo en el horario vespertino tardío (17:00-19:00), a diferencia de los demás edificios cuya demanda máxima tiende a producirse antes del mediodía. Este comportamiento es coherente con la distribución horaria de la carga académica de la facultad, que opera principalmente en el turno vespertino. El volumen semanal total en días hábiles fue de 26,24 m³ en la primera semana y de 25,82 m³ en la segunda, con un promedio diario de 5,24 m³/día y 6,45 m³/día respectivamente. El consumo en fines de semana es significativamente menor, con promedios horarios que oscilan entre 0,02 y 0,07 m³/hora y máximos horarios que no superan los 0,22 m³/hora, lo que representa una reducción de más del 90 % respecto a los días hábiles, confirmando que la demanda está estrechamente vinculada a la presencia de usuarios.

3.3.2 *Facultad de Administración*

La Facultad de Administración, que comprende además el auditorio principal y las áreas administrativas de la universidad, registra el mayor volumen diario entre los edificios monitoreados por caudalímetros inteligentes, con 18,70 m³/día de promedio en días hábiles

durante la primera semana (93,48 m³ semanales / 5 días). Su pico de demanda ocurre entre las 10:00 y las 13:00, coincidiendo con el turno matutino de mayor concentración de actividades. La proporción de consumo matutino alcanza el 65,75 % en la primera semana analizada y el 61,10 % en la segunda —valores superiores al promedio del conjunto de edificios monitoreados (≈59 %)—, lo que confirma la preponderancia de la jornada de la mañana en este sector. Los fines de semana presentan consumos relativamente más altos que en otros edificios (promedio de 0,590 m³/hora los sábados y 0,243 m³/hora los domingos), fenómeno que puede explicarse por la realización de eventos institucionales y el uso de las instalaciones del auditorio.

3.3.3 *Edificio del Vicerrectorado*

El Vicerrectorado muestra un patrón de consumo típicamente administrativo, con su demanda máxima entre las 11:00 y las 14:00. El porcentaje de consumo matutino es del 62,79 % en la primera semana y del 57,35 % en la segunda. Los fines de semana registran volúmenes mínimos, con promedios horarios cercanos a cero en algunos días, lo cual evidencia que el uso del agua en este edificio está directamente condicionado por la actividad laboral del personal administrativo.

3.3.4 *Facultad de Filosofía*

La Facultad de Filosofía presenta una singularidad relevante en comparación con los demás edificios: de manera recurrente, el consumo máximo mensual se produce en un fin de semana, hecho que contrasta con el patrón observado en los otros sectores. Este comportamiento sugiere la realización periódica de eventos o actividades de alta convocatoria que concentran un volumen de usuarios superior al habitual de los días hábiles.

A excepción de estos eventos puntuales, los fines de semana de esta facultad presentan consumos muy bajos. Este patrón debe ser considerado en la planificación del suministro para evitar problemas de presión o disponibilidad en los eventos de mayor demanda.

3.3.5 *Edificio de UDA Salud*

UDA Salud constituye el caso más atípico entre los edificios monitoreados. A diferencia del resto, su patrón de consumo no sigue la tendencia asociada al calendario académico: los picos de demanda pueden presentarse en cualquier franja horaria y el consumo en fines de semana no disminuye necesariamente de forma significativa. Algunos fines de semana se registraron consumos elevados, mientras que otros presentaron valores muy bajos. Esta variabilidad es coherente con la naturaleza del edificio, que alberga servicios de salud con

horarios y demandas propias, distintas a las de una unidad académica convencional. Desde la perspectiva de la gestión del recurso, esta irregularidad requiere un monitoreo más granular y la definición de umbrales de consumo base específicos para este sector (U.S. Environmental Protection Agency, 2018).

3.3.6 *Edificio de Ciencias y Tecnología (CC.TT)*

El edificio de CC.TT registra uno de los mayores volúmenes de consumo entre los sectores monitoreados por caudalímetros, con un total semanal de 41,97 m³ en días hábiles de la primera semana (8,39 m³/día) y 42,70 m³ en la segunda (10,68 m³/día). Su concentración matutina es marcada: 66,08 % del consumo semanal en la primera semana y 56,11 % en la segunda, ambos superiores al promedio del campus. El pico de demanda se ubica entre las 10:00 y las 13:00. La presencia de laboratorios y talleres de uso intensivo explica la mayor demanda absoluta de este edificio en comparación con unidades académicas de perfil exclusivamente teórico. Los fines de semana presentan consumos muy reducidos, con promedios horarios inferiores a 0,11 m³/hora y máximos de 0,35 m³/hora, lo que equivale a una reducción superior al 95 % respecto al promedio de días hábiles, confirmando la escasa ocupación fuera del horario lectivo.

3.4 Comparación del Consumo de 2025 con Años Anteriores

El análisis comparativo de los registros de facturación de ETAPA EP correspondientes al período 2022-2025 permite evaluar la evolución temporal del consumo de agua potable en la Universidad del Azuay. Los propios datos del estudio (Tabla 5) permiten cuantificar esta evolución: el medidor principal del campus central (N.° 2022028084) registró una pendiente semanal promedio de 256,26 m³/sem en abril de 2025 —el mes de mayor demanda— que declinó a 82,46 m³/sem en agosto durante el receso académico. Comparadas con las series históricas de facturación de ETAPA EP para el mismo período en años anteriores, las pendientes de las curvas de consumo acumulado de los tres medidores principales son notoriamente menores en 2025, lo que indica un consumo global inferior al registrado en ciclos anteriores para los mismos meses de referencia.

Este resultado constituye una evidencia empírica de que las medidas de planificación y optimización del uso del agua implementadas por la universidad han comenzado a producir efectos mensurables. Entre dichas medidas se encuentran la instalación de sistemas presurizados, la renovación de aparatos sanitarios con tecnología de bajo consumo y la incorporación del esquema de medición inteligente analizado en el presente estudio. Estas

intervenciones son consistentes con la evidencia internacional que documenta reducciones de consumo del orden del 20 % al 50 % tras la implementación de programas integrales de eficiencia hídrica en instituciones universitarias (López Cando & Murillo López, 2024; UNCiencia, 2016).

No obstante, cabe señalar que la reducción del consumo en 2025 también puede estar influenciada por factores externos, como variaciones en la matrícula estudiantil, cambios en el calendario académico o condiciones climáticas. Para aislar el efecto específico de las medidas de eficiencia, sería recomendable realizar un análisis de regresión que controle estas variables y permita cuantificar la contribución neta de las intervenciones a la reducción del consumo.

3.5 Implicaciones para la Gestión Sostenible del Recurso Hídrico

Los resultados obtenidos en el presente estudio para la Universidad del Azuay permiten derivar implicaciones concretas para la gestión sostenible del recurso hídrico en el campus. La identificación de patrones de consumo diferenciados por edificio, franja horaria y tipo de día —con consumos diarios que varían desde 5,24 m^3/día en la Facultad de Diseño hasta 18,70 m^3/día en la Facultad de Administración en días hábiles, y reducciones superiores al 90 % en fines de semana— proporciona la base empírica necesaria para diseñar intervenciones específicas y medibles. Este diagnóstico es especialmente relevante en el contexto del campus universitario, cuyo sistema de distribución interna opera de manera análoga a una red de pequeña escala: atiende a una población flotante de miles de usuarios con demanda intermitente, concentrada en franjas horarias específicas y altamente condicionada por el calendario académico (Farley & Trow, 2003).

Tradicionalmente, la detección de fugas se ha realizado mediante inspecciones visuales, campañas acústicas puntuales o análisis simples de balances de agua. Si bien estos métodos pueden ser efectivos, suelen ser costosos, reactivos y poco eficientes para sistemas pequeños, donde los recursos financieros y humanos son limitados. Además, las fugas incipientes o subterráneas pueden permanecer sin ser detectadas durante largos periodos, agravando el problema y aumentando las pérdidas acumuladas. Esta situación se ve intensificada por la escasa instrumentación de las redes y la falta de sistemas de monitoreo continuo.

En los últimos años, el avance de la sensorización y el análisis de datos ha abierto nuevas oportunidades para mejorar la gestión de redes de agua potable (Mounce & Boxall, 2010). En particular, datos obtenidos a partir de sensores de bajo costo contienen información valiosa sobre el estado hidráulico del sistema. Sin embargo, en la mayoría de los operadores pequeños,

estos datos no se aprovechan de manera sistemática ni analítica, perdiéndose su potencial para la detección temprana de fugas. El análisis realizado en el presente trabajo sienta las bases para un análisis de horarios de consumos y limites por sobre los cuales puedan emitirse alertas al departamento de mantenimiento de la Universidad y permita identificar y dar seguimiento a consumos irregulares que pueden terminar generando un mal uso del recurso para la Universidad o pueden ser cubiertos por el rehúso de agua lluvia.

En este contexto, el aprendizaje automático y el análisis de anomalías emergen como herramientas prometedoras. Los modelos no supervisados permiten aprender el comportamiento normal de la red sin necesidad de grandes volúmenes de datos etiquetados, lo cual es especialmente relevante en sistemas donde no existe un historial detallado de eventos de fuga. Al identificar patrones atípicos en las señales de caudal, estos modelos pueden generar alertas tempranas que orienten las acciones de inspección y mantenimiento, reduciendo tiempos de respuesta y costos operativos (Romano et al., 2014).

Los hallazgos del presente análisis para la Universidad del Azuay ofrecen orientación concreta para la gestión del recurso hídrico, tal como se desarrolla en el capítulo de conclusiones y recomendaciones. A manera de síntesis, la distribución de consumos identificada confirma que la Facultad de Administración y el edificio de CC.TT concentran la mayor demanda absoluta, mientras que UDA Salud y la Facultad de Filosofía requieren monitoreo específico por sus patrones atípicos.

4 Conclusiones

El estudio logró recopilar y consolidar datos de consumo de agua potable provenientes de tres fuentes complementarias: los registros históricos de facturación de ETAPA EP correspondientes al período 2022–2025, los datos horarios y diarios generados por los caudalímetros inteligentes instalados progresivamente desde septiembre de 2025, y el inventario físico de medidores convencionales internos. Esta integración de fuentes permitió construir una base de datos multitemporal y multisectorial que refleja con precisión el comportamiento real del consumo hídrico en los distintos sectores del campus universitario, dando cumplimiento al primer objetivo específico planteado.

A partir del análisis de los datos recopilados, fue posible identificar las áreas de mayor demanda y caracterizar los patrones horarios y estacionales de cada unidad académica o administrativa monitoreada. Se determinó que la franja de mayor consumo se concentra entre

las 6:00 y las 14:00 en la mayor parte de los edificios, con proporciones matutinas que varían entre el 50,63 % (Facultad de Diseño, semana 2) y el 66,08 % (CC.TT, semana 1) del total semanal, según las características funcionales de cada espacio. Los sectores con mayor demanda absoluta fueron la Facultad de Administración (18,70 m^3/día promedio en días hábiles, semana 1), el edificio de CC.TT (8,39 m^3/día) y la Facultad de Diseño (5,24 m^3/día). Del mismo modo, se evidenció una diferencia significativa entre días hábiles y fines de semana: el consumo diario en fin de semana representa menos del 10 % del registrado en días lectivos en la mayoría de los edificios, siendo la Facultad de Diseño el caso más marcado con reducciones superiores al 90 %, lo que confirma que el consumo hídrico está directamente condicionado por la actividad académica, cumpliendo así el segundo objetivo específico del estudio.

Con base en los resultados obtenidos, el estudio establece las condiciones técnicas necesarias para orientar estrategias de optimización del consumo de agua potable en la Universidad del Azuay. Los perfiles de consumo horario, diario y mensual generados constituyen insumos esenciales para el diseño de políticas de eficiencia hídrica diferenciadas por sector y para la implementación de sistemas de alerta ante consumos fuera de los rangos esperados. La reducción del consumo global observada en el período 2025 respecto a años anteriores sugiere que las acciones de planificación institucional han tenido un efecto positivo, aunque persisten márgenes de mejora en edificios con consumos atípicos —en particular UDA Salud, que presenta alta variabilidad en fines de semana e irregularidad frente al patrón académico, y la Facultad de Filosofía, que registra eventos puntuales de consumo en fines de semana superiores a los días hábiles regulares—, aspectos que requieren un análisis de mayor resolución temporal para determinar sus causas y diseñar intervenciones específicas, respondiendo al tercer objetivo específico planteado.

En términos generales, el presente trabajo cumplió con el objetivo de evaluar el consumo de agua potable en los edificios de la Universidad del Azuay mediante la integración de múltiples fuentes de medición. Los resultados demuestran que es posible construir un diagnóstico hídrico institucional detallado y actualizable a partir de las infraestructuras existentes y los datos que estas generan. Este diagnóstico constituye un aporte metodológico y técnico replicable en otras instituciones de educación superior que busquen avanzar hacia una gestión sostenible y eficiente de sus recursos hídricos.

5 Recomendaciones

En cuanto a las recomendaciones, los resultados del presente estudio ofrecen una base sólida para orientar intervenciones concretas. En primer lugar, la identificación de los periodos y sectores de mayor demanda permite focalizar las acciones de optimización en los puntos de mayor impacto potencial: la Facultad de Administración (18,70 m^3/día en días hábiles) y el edificio de CC.TT (8,39 m^3/día) emergen como sectores prioritarios dado que concentran los mayores volúmenes de consumo y presentan una capacidad de reducción significativa mediante el uso de tecnología en aparatos sanitarios.

En segundo lugar, la detección de consumos en franjas horarias de baja actividad —primeras horas de la mañana y fines de semana— es un insumo clave para identificar posibles fugas: la metodología del consumo mínimo nocturno (CMN) puede adaptarse al contexto institucional mediante el análisis sistemático de los datos de los caudalímetros (Cesaro, 2024; Fernández Morales & Duarte, 2012).

En tercer lugar, los perfiles generados constituyen una línea base empírica para el sistema de indicadores de sostenibilidad hídrica de la universidad, cuya continuidad permitirá construir series temporales más extensas y evaluar el impacto de futuras intervenciones (Universidad del Azuay, 2023). Como siguiente fase, se recomienda utilizar los datos recopilados en softwares especializados de análisis y modelamiento hídrico que permitan establecer rangos de consumo esperado para cada sector y desarrollar algoritmos de detección automática de anomalías cuando los registros se encuentren fuera de dichos rangos. Adicionalmente, se recomienda ampliar el período de toma de datos con el fin de construir una base de datos más extensa y representativa, que mejore el control de la información, fortalezca la precisión del análisis estadístico y permita identificar tendencias a largo plazo con mayor confiabilidad.

Referencias

Achache Carrillo, J., & Gómez Monar, R. (2022). *Análisis de la red de distribución interna de agua potable de la Universidad del Azuay* [Tesis de grado]. Universidad del Azuay.

Agencia de Regulación y Control del Agua [ARCA]. (2022). *Guía para la formulación del balance hídrico en prestadores de servicios de agua potable*. ARCA.

Arregui, F., Palau, C. V., Gascón, L., & Peris, O. (2020). Influence of intermittent flow on water meter performance. *Water*, 12(3), 745. https://doi.org/10.3390/w12030745

Beato, P. (2001). *The water utility in an urban context*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Banco Interamericano de Desarrollo [BID] & Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca [ETAPA EP]. (2025). *Informe de evaluación del sistema de agua potable de Cuenca*. BID.

Bosch Rexroth AG. (2019). *Piezoresistive pressure sensor technology*. Bosch Rexroth.

Campaña Quisaguano, M., & Ortega Quiñónez, A. (2016). *Sectorización y control de pérdidas en redes de distribución de agua potable* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Nacional.

Cesaro, G. F. (2024). *Household water leak detection using smart metering generated water consumption data* [Tesis de maestría]. Università degli Studi di Padova. https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/62788

Chafla Martínez, P. R., Chafla Altamirano, J. F., & Mancheno Corral, A. (2021). Factores socioeconómicos en la estimación de la huella hídrica personal: el caso de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, (9), 191–214. https://doi.org/10.32719/25506641.2021.9.8

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2019). *Los servicios de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe*. CEPAL.

Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca [ETAPA EP]. (s. f.). *Informe de gestión del sistema de agua potable de Cuenca*. ETAPA EP. https://www.etapa.net.ec

Farley, M., & Trow, S. (2003). Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, monitoring and control. *IWA Publishing*.

Fernández Morales, F. J., & Duarte, J. E. (2012). Sectorization methodology for urban water distribution networks. *Ingeniería e Investigación*, 32(1), 55–61.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca [GAD Municipal de Cuenca]. (2023). *Plan de ordenamiento territorial del cantón Cuenca 2023-2027*. GAD Municipal de Cuenca.

Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM [PUMAGUA]. (2017). *Informe de avances 2017*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. https://www.pumagua.unam.mx/assets/pdfs/informes/2017/INFORME_2017.pdf

González-Gómez, F., et al. (2011). Why is non-revenue water so high in so many cities? Explanations for an international puzzle. *International Journal of Water Resources Development*, 27(1), 145–161.

Guamán, C., & Illares, M. (2019). *Análisis de la huella hídrica en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca mediante redes de telemetría* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Hong, S., & Lee, S. (2019). Ultrasonic water flow measurement based on time-of-flight method. *Sensors*, 19(4), 855.

International Organization for Standardization [ISO]. (2014). *ISO 4064-1: Water meters for cold potable water and hot water — Part 1: Metrological and technical requirements*. ISO.

Liemberger, R., & Wyatt, A. (2018). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(3), 831–837.

López Cando, M., & Murillo López, A. (2024). *Efecto de sistemas presurizados y tecnologías de medición en la reducción del consumo de agua potable en la Universidad del Azuay* [Tesis de grado]. Universidad del Azuay.

Miller, R. W. (1996). *Flow measurement engineering handbook* (3.ª ed.). McGraw-Hill.

Mounce, S. R., & Boxall, J. B. (2010). Development and verification of an online artificial intelligence system for detection of bursts and other abnormal flows. *Journal of Water*

Resources Planning and Management, 136(3), 309–318. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000042.

National Instruments. (2020). Temperature measurement with NTC thermistors. NI. https://www.ni.com/en-us/innovations/white-papers/06/measuring-temperature-with-ntc-thermistors.html

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. ONU. https://sdgs.un.org/2030agenda

Naciones Unidas. (2023). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2023: Asociaciones y cooperación en favor del agua*. UNESCO.

Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC]. (2011). *NEC-11, Capítulo 16: Instalaciones hidrosanitarias*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador.

Omega Engineering Inc. (2020). *Flow measurement handbook: Industrial-grade sensors, transducers, and instrumentation*. Omega. https://www.omega.com

Organisation Internationale de Métrologie Légale [OIML]. (2024). *OIML R 49-1: Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water*. OIML.

Romano, M., Kapelan, Z., & Savic, D. (2014). Automated detection of pipe bursts and other events in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(4), 457–467. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000330.

Tuya Inc. (s. f.). *Tuya IoT platform documentation*. https://developer.tuya.com

UNCiencia. (2016). *Reducción del consumo de agua en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba*. UNC. https://www.unc.edu.ar

Universidad del Azuay. (2023). *Plan Estratégico de Sostenibilidad Ambiental 2023-2028*. Universidad del Azuay.

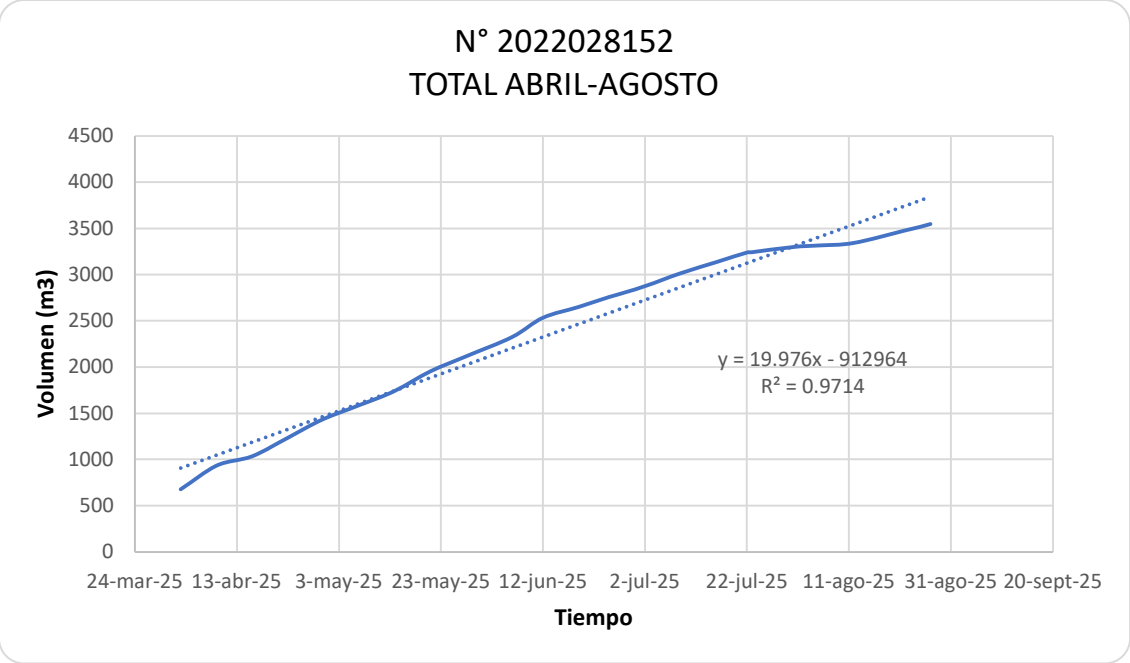
U.S. Environmental Protection Agency [EPA]. (2018). *WaterSense: Water efficiency in buildings*. EPA. https://www.epa.gov/watersense

Zapata-Sierra, A. J., Salmerón-Manzano, E., Alcayde, A., Zapata-Castillo, M. L., & Manzano-Agugliaro, F. (2024). The scientific landscape of smart water meters: A comprehensive review. *Water*, 16(1), 113. https://doi.org/10.3390/w16010113

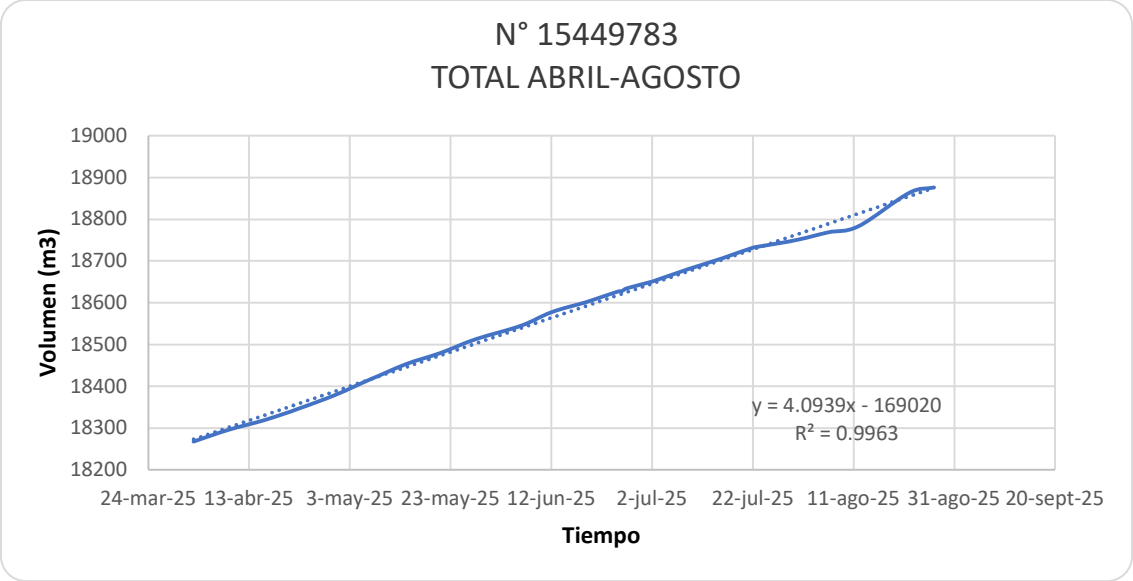
Anexos

1.1 Anexo A

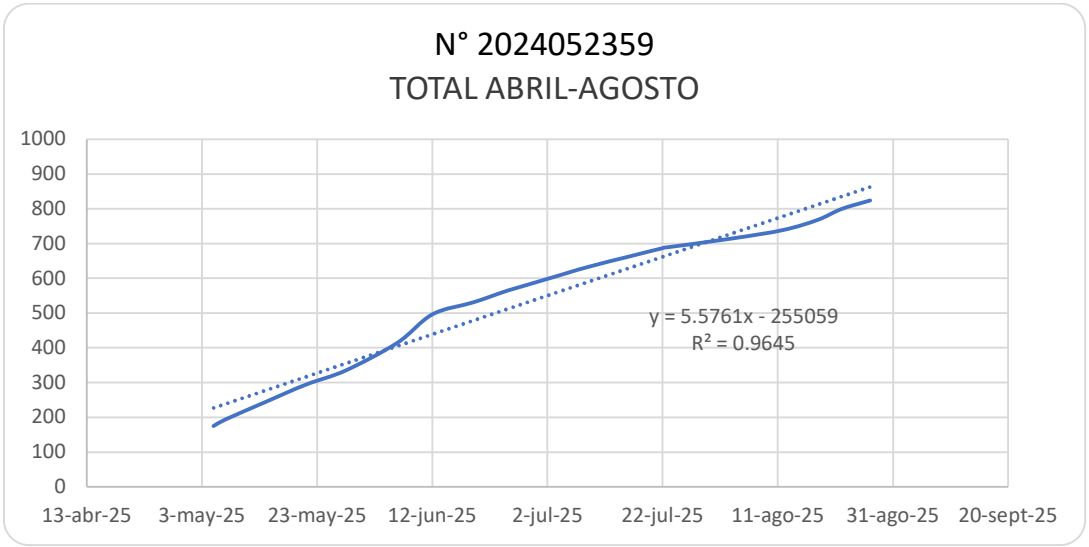
1.1.1 Anexo A.1 - Gráficos Totales



En este gráfico se observa el volumen total acumulado del Medidor N° 2022028152 a lo largo de 21 semanas comprendidas entre abril y agosto de 2025. La tendencia de crecimiento es sostenida con una pendiente semanal promedio de 132 m³, evidenciada por la línea de tendencia incluida en el gráfico. Durante los meses de julio y agosto, correspondientes al período vacacional universitario, la tasa de crecimiento disminuye notablemente respecto a los meses de mayor actividad académica.



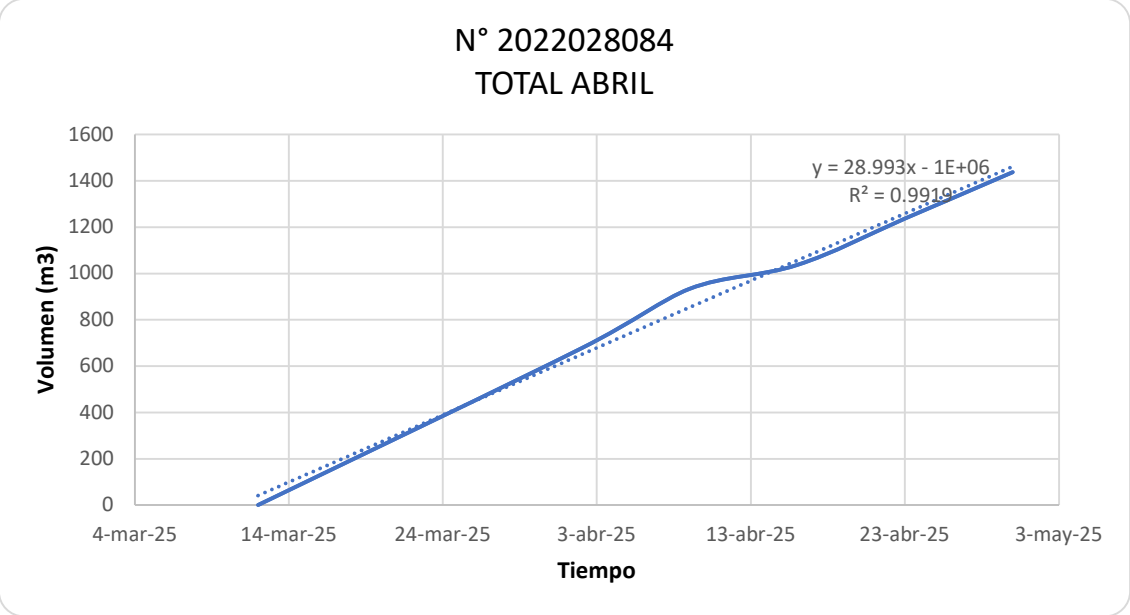
El gráfico representa el volumen total acumulado del Medidor N° 15449783 durante el período abril–agosto 2025, abarcando aproximadamente 21 semanas de registro continuo. La tendencia de crecimiento es positiva con una pendiente semanal promedio de 23.934 m³. Se distingue un crecimiento más acelerado en las primeras 15 semanas correspondientes al período de clases, mientras que en las semanas finales, asociadas al receso académico, la tasa de crecimiento se reduce de manera perceptible.



El gráfico presenta el volumen total acumulado del Medidor N° 2024052359 desde su instalación en mayo hasta agosto de 2025. Se observa un crecimiento lineal durante los meses de clases de mayo y junio, seguido de una reducción en la tasa de acumulación durante el período vacacional de julio y agosto. Este comportamiento es coherente con la disminución de actividades en la Facultad de CCTT y confirma la alta correlación entre la presencia de la comunidad universitaria y el consumo hídrico de esta zona.

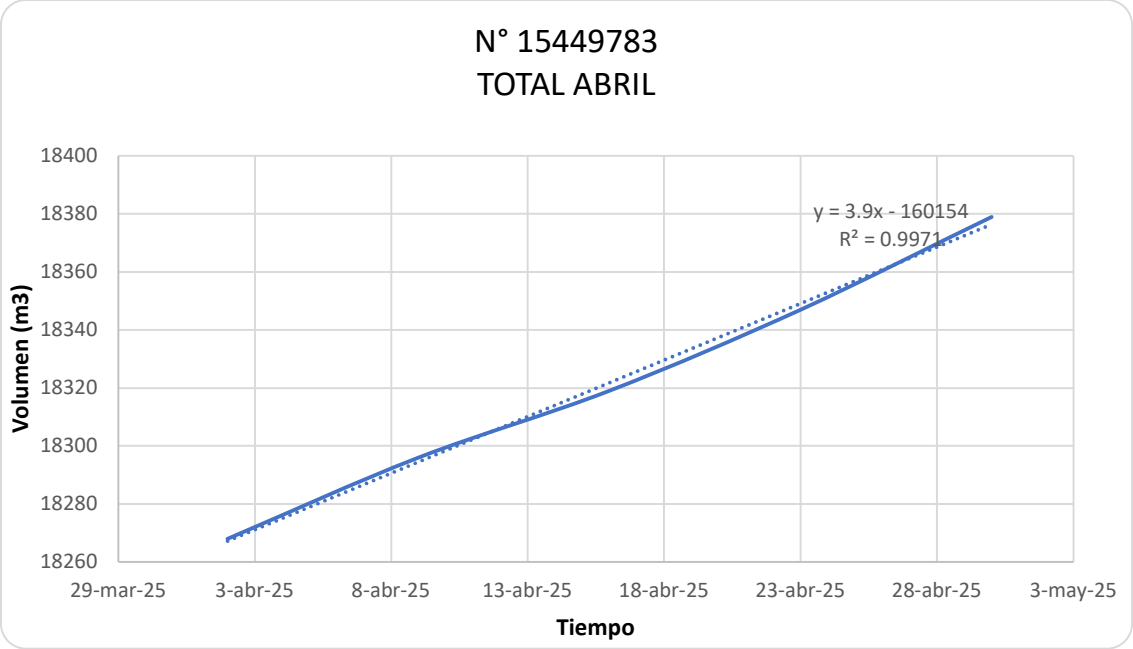
Abril

Medidor N° 2022028084



En este gráfico se observa el volumen total acumulado del Medidor N° 2022028084 a lo largo del mes de abril de 2025. La serie inicia el 2 de abril con una lectura de 676.83 m³ y alcanza 1437.61 m³ al cierre del mes, con una pendiente semanal de 25.80 m³ y un coeficiente de determinación R^2 cercano a 1. Este comportamiento altamente lineal refleja una demanda estable y predecible, consistente con un período de plena actividad académica del semestre.

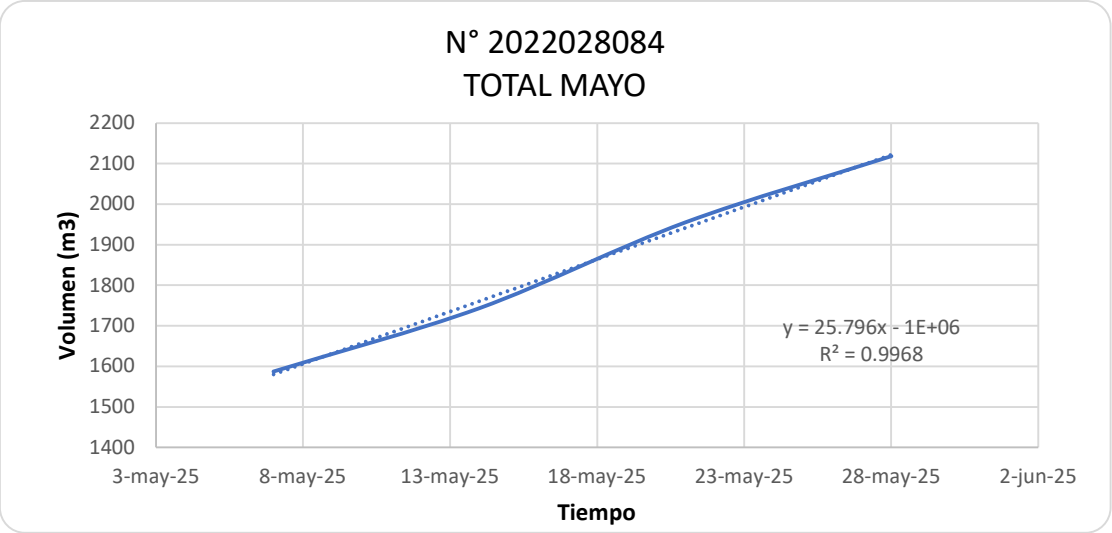
Medidor N° 15449783



El gráfico muestra el volumen total acumulado del Medidor N° 15449783 durante el mes de abril de 2025. El registro parte de 18268 m³ y alcanza 18379 m³ al cierre del mes, con una pendiente semanal promedio de 27.3 m³ y un R^2 de 0.997, indicando un crecimiento muy uniforme y predecible. Este medidor, ubicado en la entrada principal frente a la parada de taxis, evidencia un patrón de consumo estable e independiente del calendario académico, consistente con su zona de cobertura de menor afluencia.

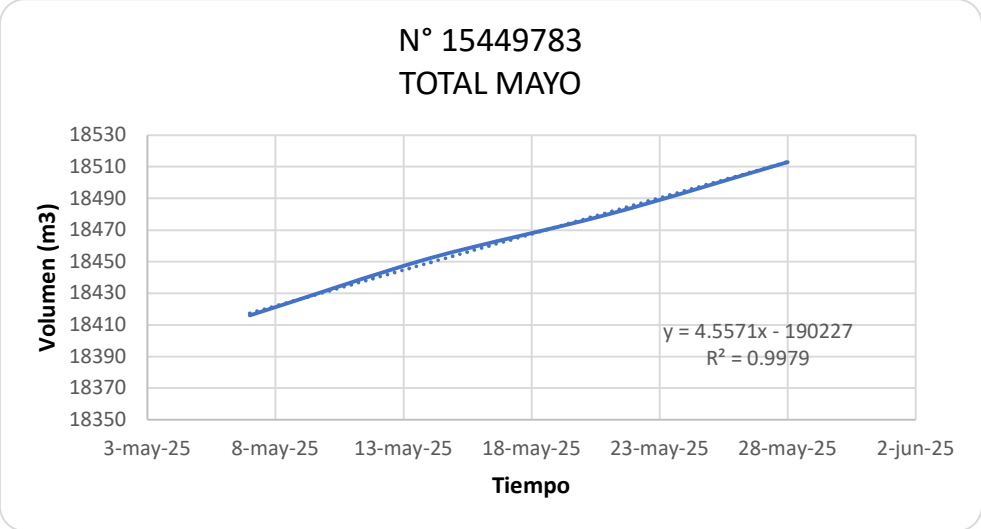
Mayo

Medidor N° 2022028084



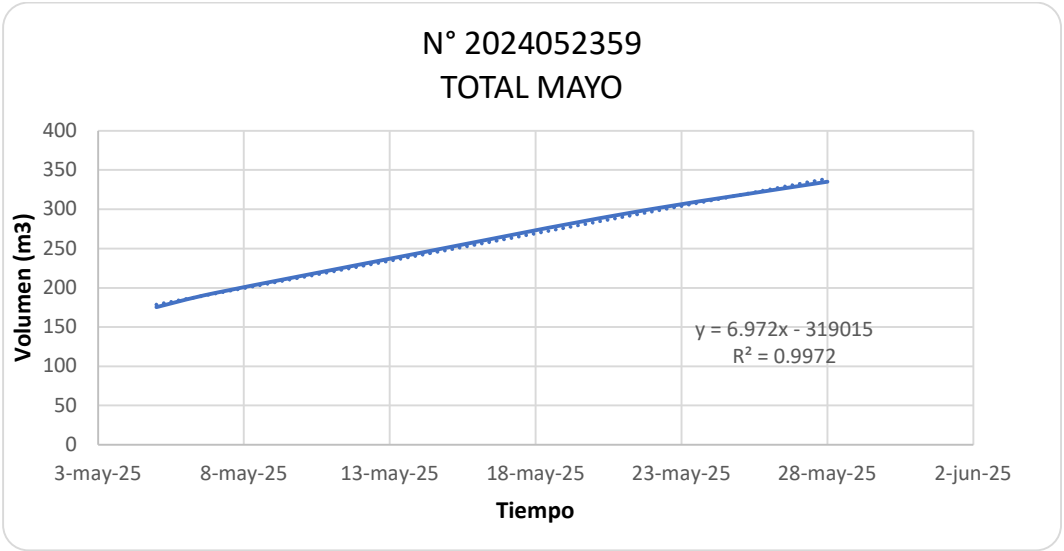
El gráfico presenta el volumen total acumulado del Medidor N° 2022028084 durante el mes de mayo de 2025. Los valores crecen de forma muy regular desde 1587 m³ hasta 2119 m³, con una pendiente semanal de 25.80 m³ y un R^2 de 0.997, indicando un comportamiento predecible y constante. Estos registros son coherentes con los de abril, confirmando la estabilidad del consumo del campus principal durante el período de actividad académica regular del semestre.

Medidor N° 15449783



El gráfico muestra el volumen total acumulado del Medidor N° 15449783 durante el mes de mayo de 2025. El registro crece de manera constante desde 18416 m³ hasta 18513 m³, con una pendiente semanal de 4.56 m³ y un R^2 cercano a 1. Este medidor mantiene el comportamiento más estable y predecible de los tres analizados, con valores muy similares a los del mes de abril, lo que refleja un consumo base constante en su zona de cobertura.

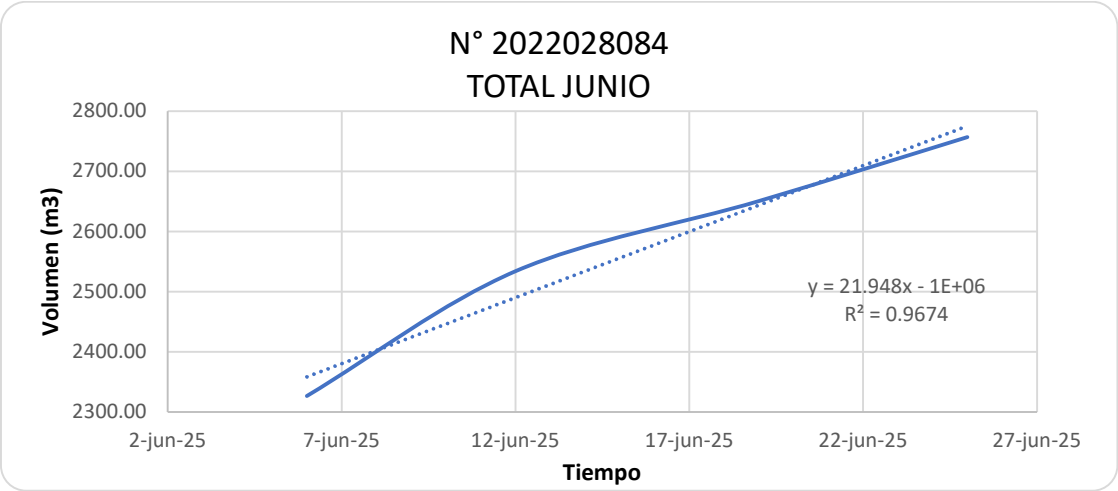
Medidor N° 2024052359



El gráfico ilustra el volumen total acumulado del Medidor N° 2024052359 durante el mes de mayo de 2025, primer mes completo de registro de este instrumento. La serie muestra un crecimiento desde 175 m³ hasta 335 m³, con una pendiente semanal de 6.97 m³ y un R^2 de 0.997, demostrando una tendencia de crecimiento lineal y estable durante el período de clases. Estos valores sirven como línea base de referencia del consumo de la Facultad de CCTT para los meses siguientes.

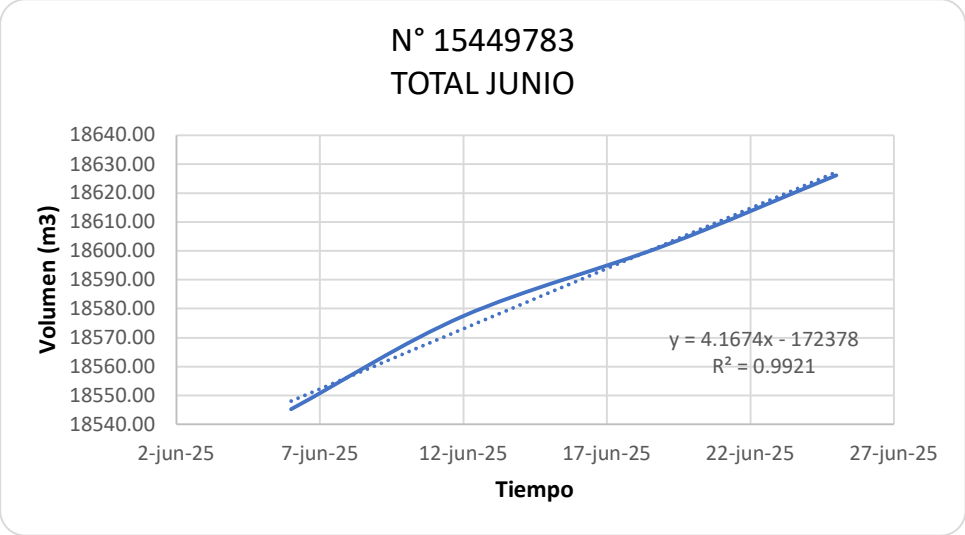
Junio

Medidor N° 2022028084



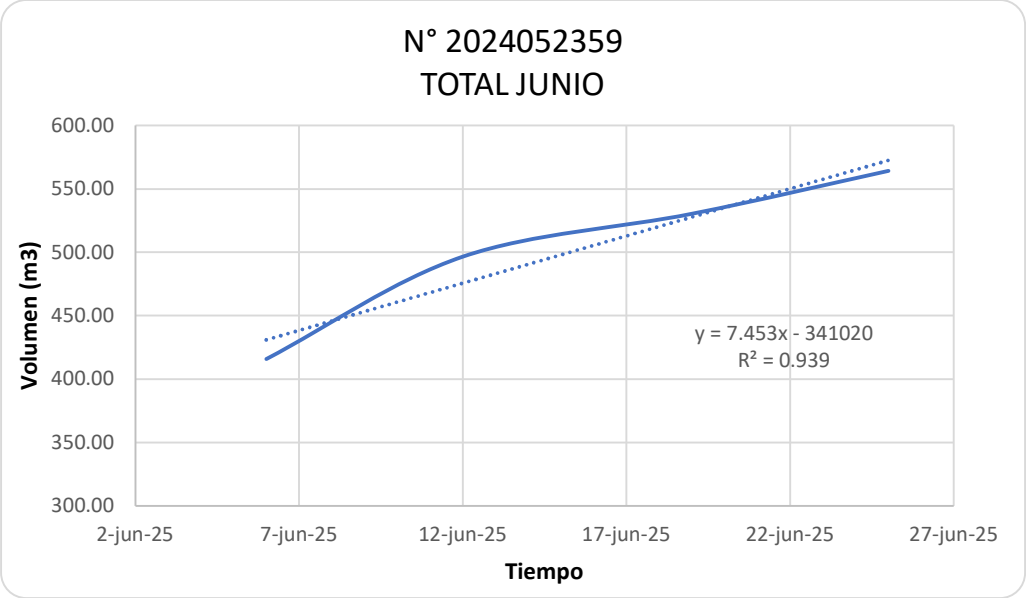
El gráfico presenta el volumen total acumulado del Medidor N° 2022028084 durante junio de 2025. El crecimiento continúa desde 2326 m³ hasta 2757 m³, con una pendiente semanal de 21.95 m³ y un R^2 de 0.967, ligeramente inferior al de meses anteriores. La reducción en la tasa de crecimiento es coherente con la disminución gradual de actividades hacia el final del semestre y la transición progresiva hacia el período de evaluaciones finales y vacaciones universitarias.

Medidor N° 15449783



El gráfico muestra el volumen total acumulado del Medidor N° 15449783 durante el mes de junio de 2025. El registro avanza desde 18545 m³ hasta 18635 m³, con una pendiente semanal de 4.17 m³ y un R^2 de 0.992. El comportamiento es igualmente estable que en los meses anteriores, confirmando el carácter constante del consumo en esta zona del campus incluso en la transición hacia el período vacacional.

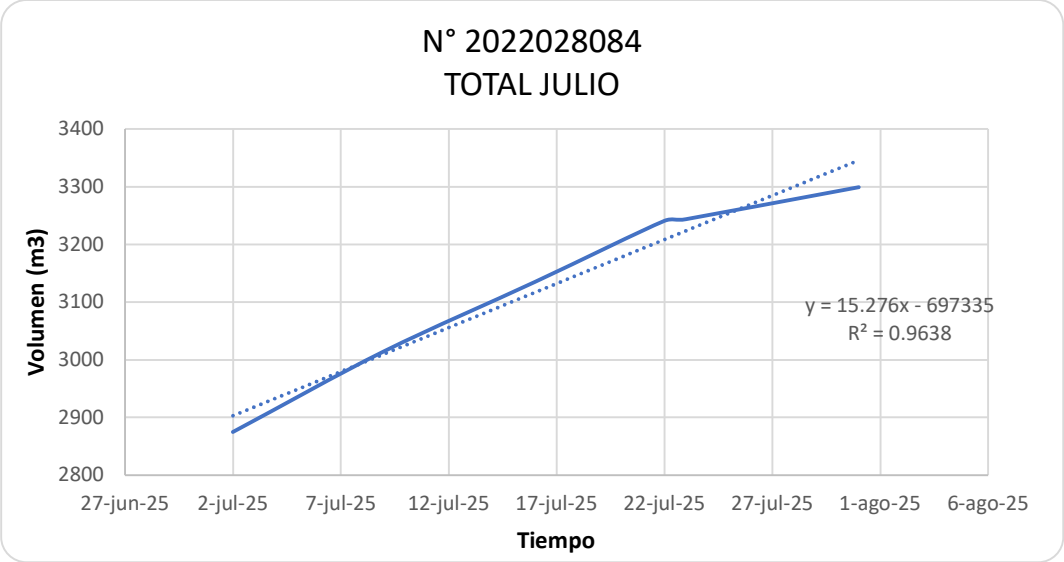
Medidor N° 2024052359



El gráfico ilustra el volumen total acumulado del Medidor N° 2024052359 durante junio de 2025. El crecimiento va de 415 m³ a 564 m³, con una pendiente semanal de 7.45 m³ y un R^2 de 0.939, el valor más bajo registrado para este medidor en los meses de clases. La mayor variabilidad observada refleja la irregularidad del consumo en la Facultad de CCTT durante las semanas de exámenes finales, con picos de alta demanda seguidos de caídas asociadas al cierre de actividades del semestre.

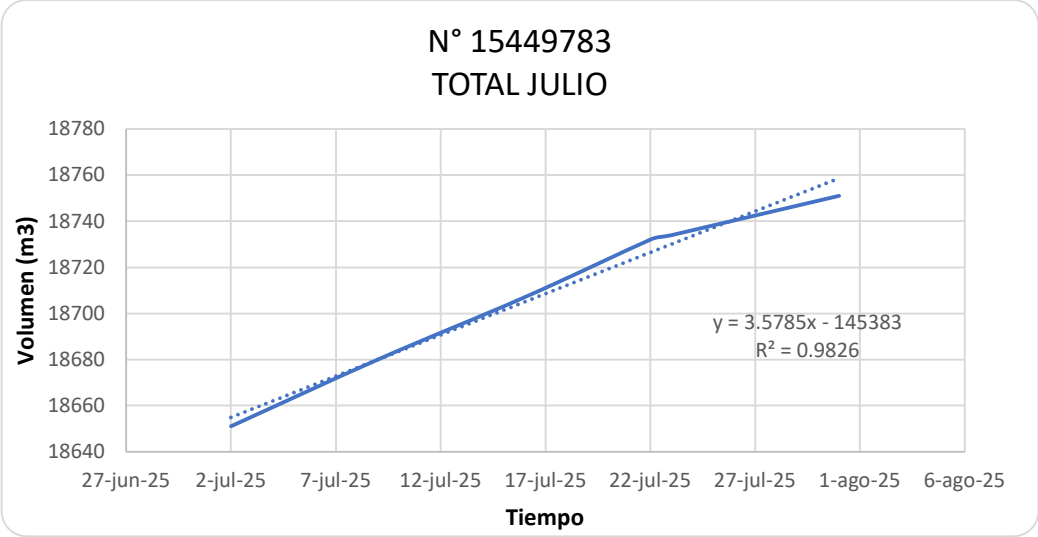
Julio

Medidor N° 2022028084



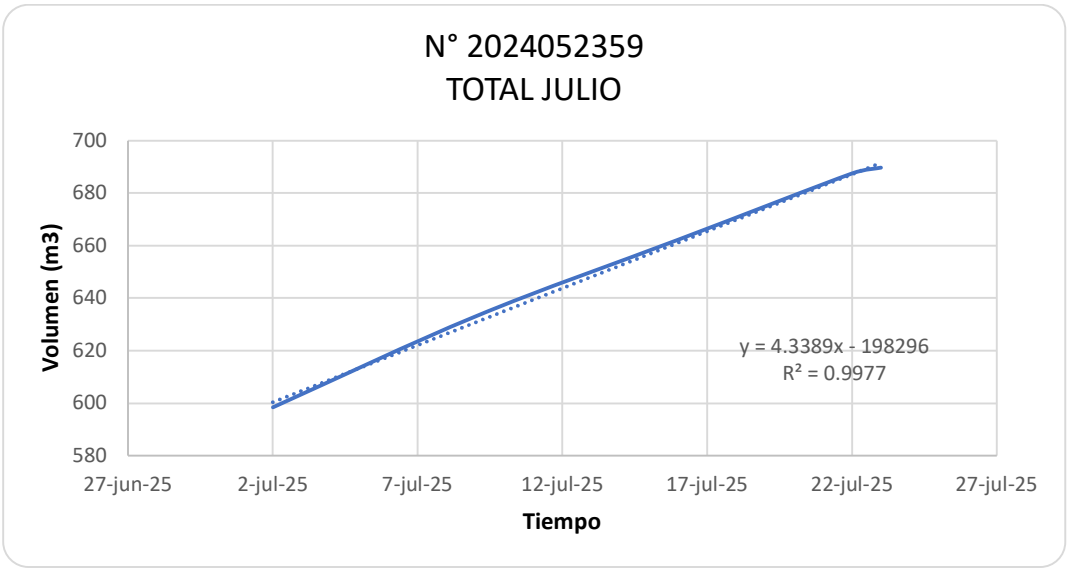
El gráfico presenta el volumen total acumulado del Medidor N° 2022028084 durante julio de 2025, primer mes completo de receso académico. El crecimiento es notablemente más lento que en los meses de clases, pasando de 2875 m³ a 3299 m³ con una pendiente semanal significativamente menor. Esta reducción en la tasa de acumulación confirma el impacto directo del período vacacional sobre el consumo del campus principal, que cubre la mayor parte de las instalaciones universitarias.

Medidor N° 15449783



El gráfico muestra el volumen total acumulado del Medidor N° 15449783 durante julio de 2025. El registro continúa creciendo de forma relativamente estable de 18651 m³ a 18751 m³, aunque con una pendiente ligeramente inferior a la de meses anteriores. A diferencia de los otros medidores, este mantiene un consumo base relativamente constante durante el período vacacional, lo que indica que la zona que cubre conserva cierto nivel de actividad con independencia del calendario académico.

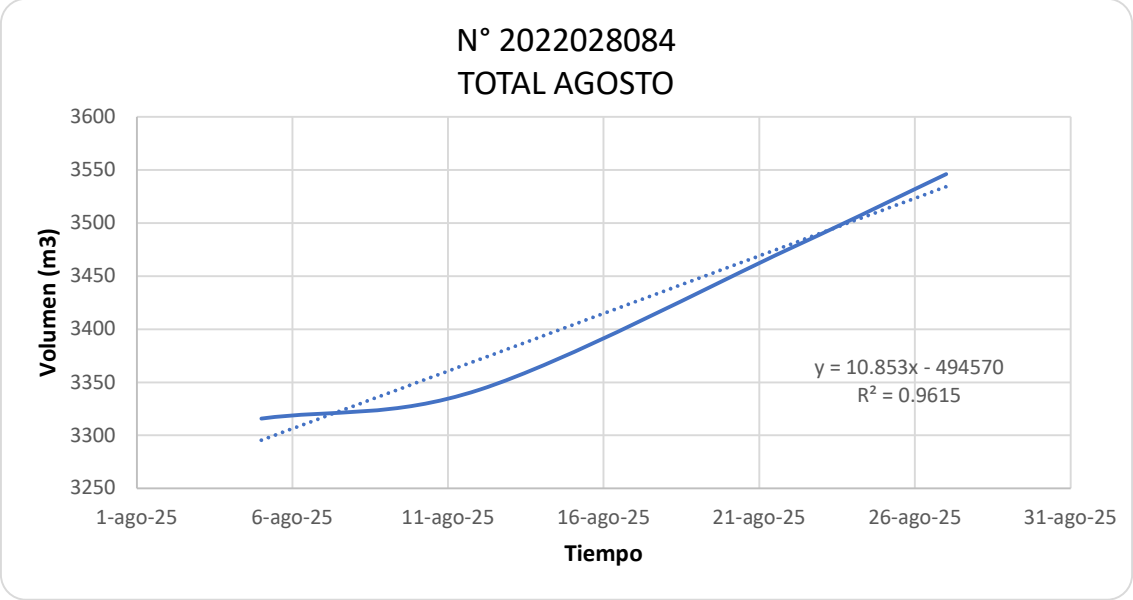
Medidor N° 2024052359



El gráfico ilustra el volumen total acumulado del Medidor N° 2024052359 durante julio de 2025. El crecimiento registrado va de 598 m³ a 690 m³, con una pendiente notablemente inferior a la de mayo y junio, reflejando la reducción de actividades en la Facultad de CCTT durante el receso. La caída en la tasa de acumulación es la más pronunciada de los tres medidores en términos relativos, evidenciando la alta dependencia del consumo de esta zona al calendario universitario.

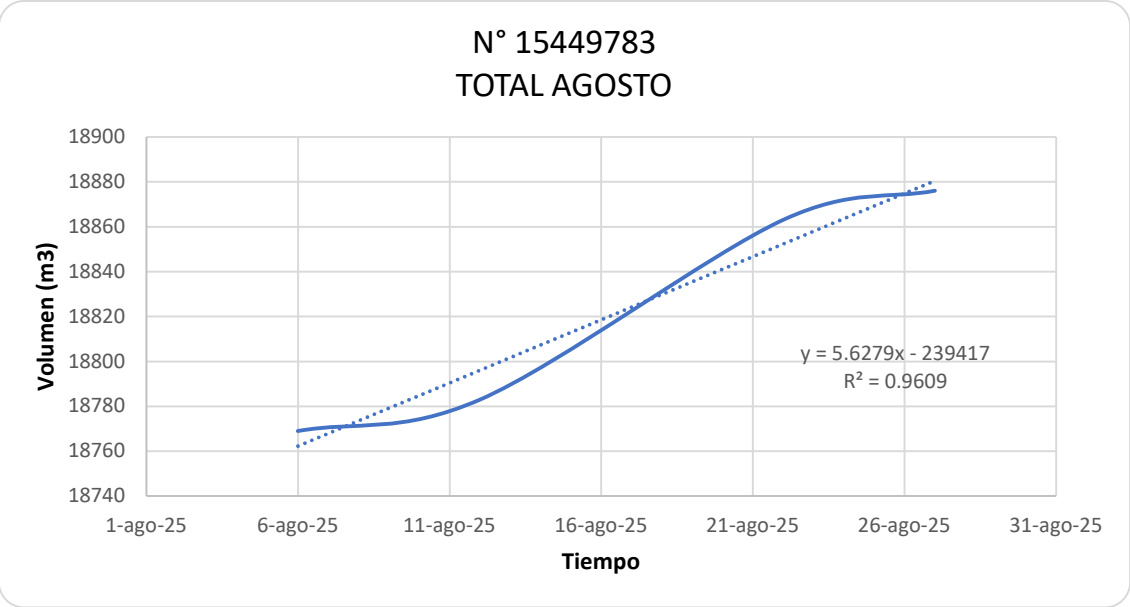
Agosto

Medidor N° 2022028084



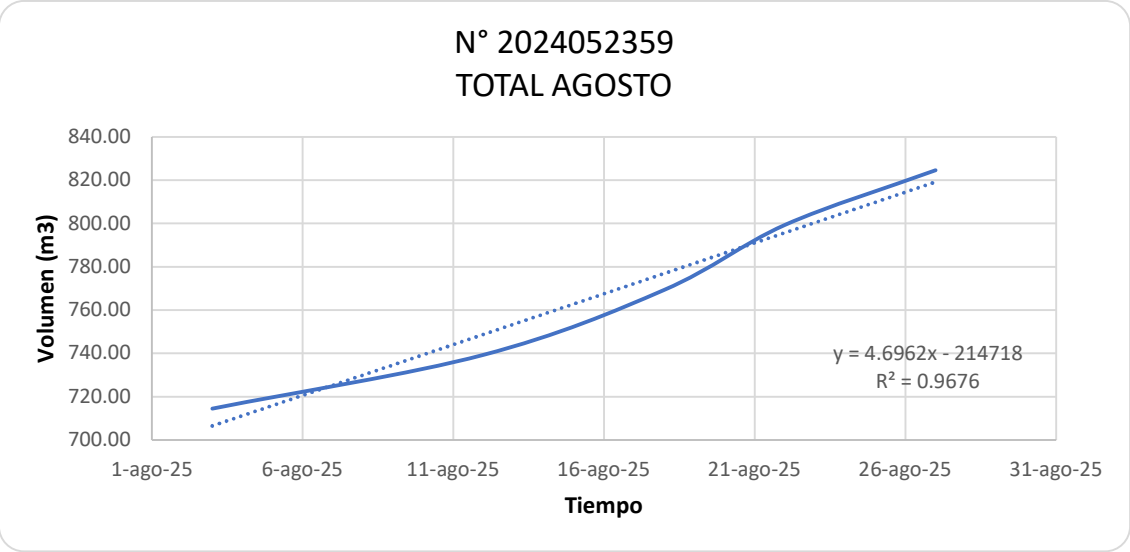
El gráfico presenta el volumen total acumulado del Medidor N° 2022028084 durante agosto de 2025, segundo mes consecutivo de vacaciones. El crecimiento pasa de 3316 m³ a 3546 m³ y es el más bajo y menos lineal de todo el período analizado. Se observa una caída en las dos primeras semanas seguida de una recuperación hacia el final del mes, posiblemente relacionada con actividades de mantenimiento o preparación de instalaciones para el retorno a clases.

Medidor N° 15449783



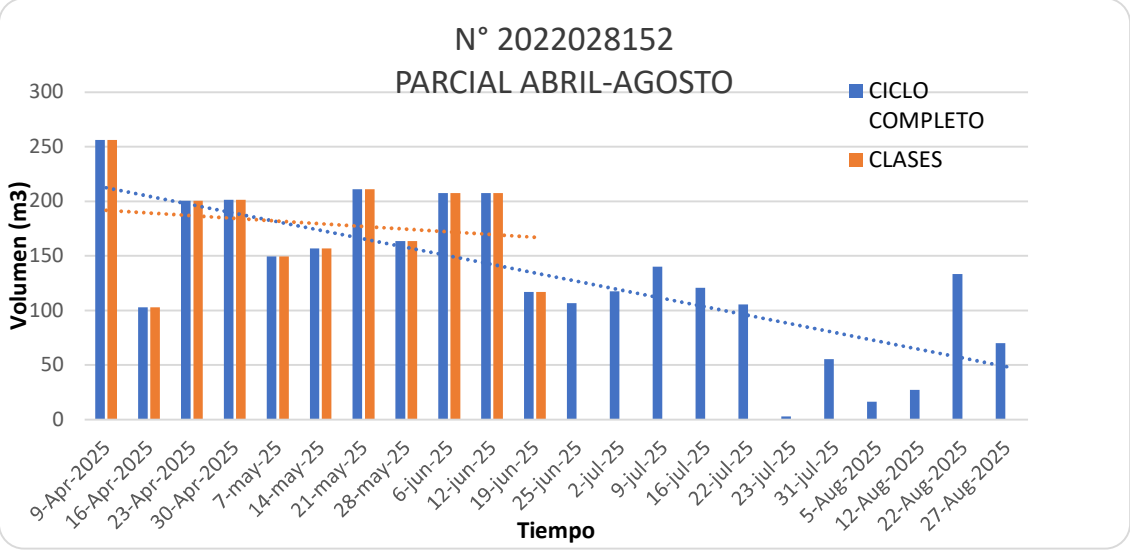
El gráfico muestra el volumen total acumulado del Medidor N° 15449783 durante agosto de 2025. El registro crece de 18769 m³ a 18876 m³, con un comportamiento similar al de los meses anteriores aunque con mayor variabilidad en las lecturas parciales. Este medidor se mantiene como el más estable de los tres incluso durante el período vacacional, reafirmando que su zona de cobertura conserva un consumo base prácticamente constante a lo largo de todo el año.

Medidor N° 2024052359

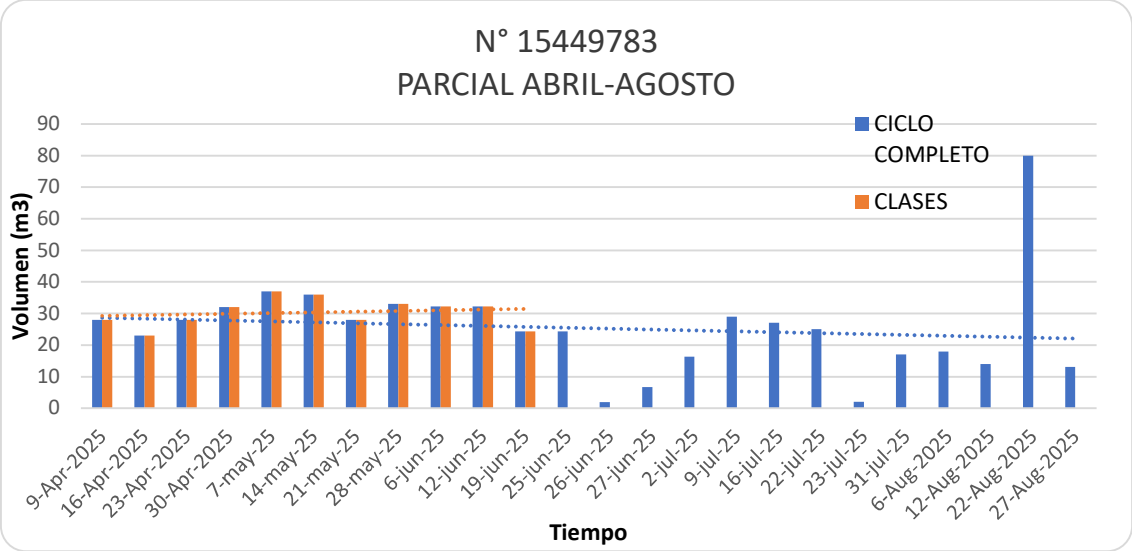


El gráfico ilustra el volumen total acumulado del Medidor N° 2024052359 durante agosto de 2025. Se registran los valores de crecimiento más bajos de todo el período de operación de este medidor, completando un patrón claro de reducción progresiva del consumo desde el mes de junio. La comparación con los meses de clases evidencia el fuerte impacto del período vacacional sobre el consumo de agua en la Facultad de CCTT.

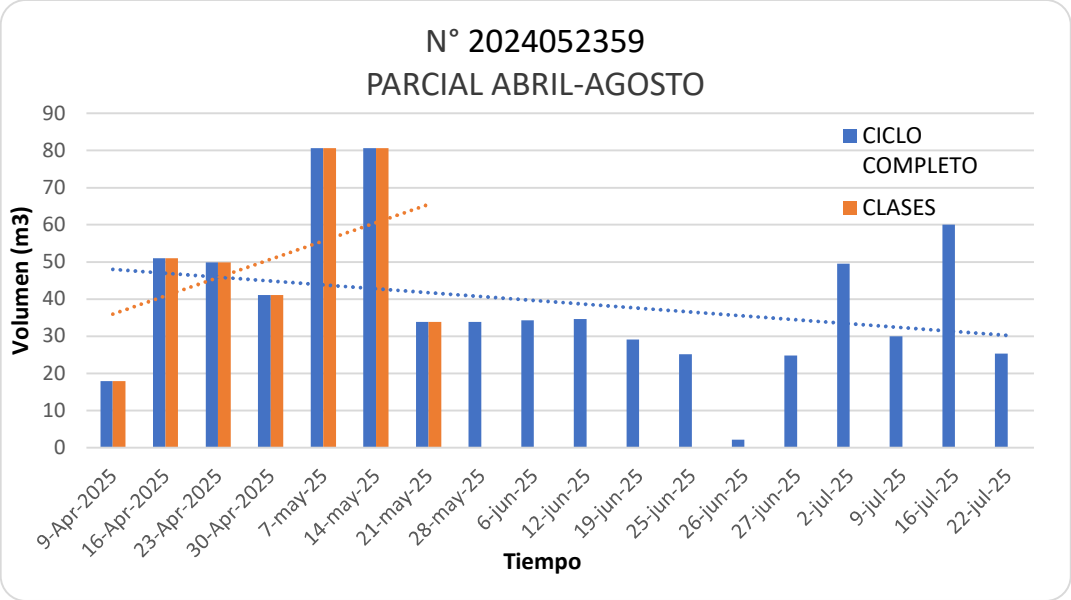
1.1.2 Anexo A.2 - Gráficos Parciales



El gráfico presenta el volumen parcial semanal del Medidor N° 2022028152 durante el período abril–agosto 2025. Se observa una tendencia decreciente a lo largo del período completo, explicada por la reducción progresiva de actividades hacia el receso vacacional. Sin embargo, la serie que excluye los períodos vacacionales muestra un consumo semanal prácticamente lineal, con valores estables que reflejan una demanda constante durante las semanas de actividad académica regular.



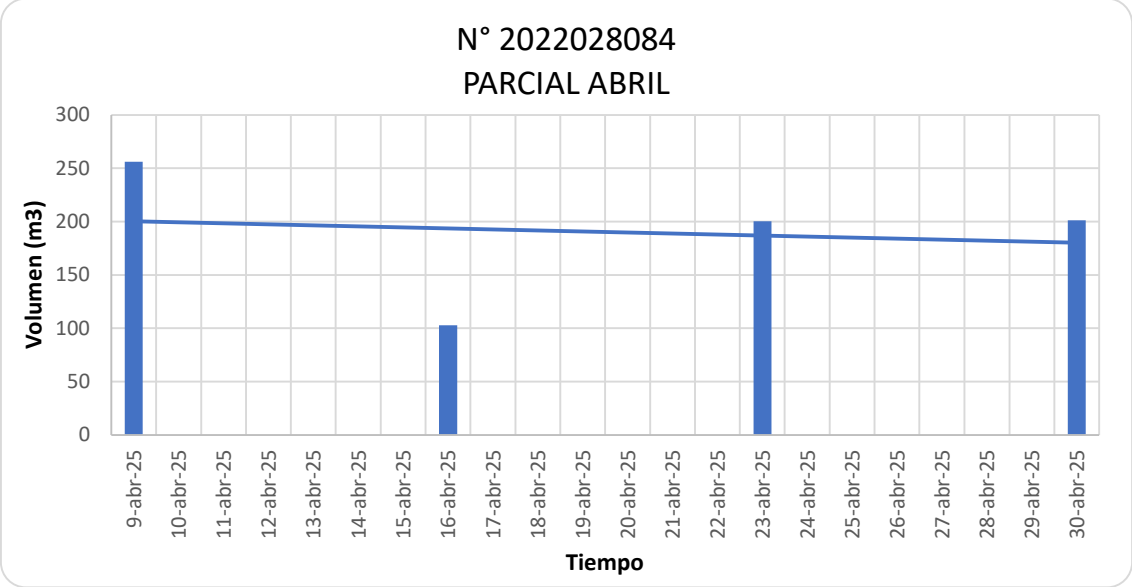
El gráfico muestra el volumen parcial semanal del Medidor N° 15449783 durante el período abril–agosto 2025. A diferencia del medidor anterior, este presenta un comportamiento más lineal durante todo el período, incluidas las vacaciones, dado que su zona de cobertura es más pequeña y de menor afluencia. La diferencia entre las pendientes de las series completa y de período de clases evidencia el efecto, aunque moderado, del calendario académico sobre el consumo de esta zona.



El gráfico presenta el volumen parcial semanal del Medidor N° 2024052359 durante el período mayo–agosto 2025. Se observan consumos semanales elevados durante los meses de clases de mayo y junio, con una reducción marcada a partir de julio con el inicio del receso vacacional. La variabilidad entre semanas es mayor que la de los otros medidores, lo que refleja la naturaleza dinámica de las actividades en la Facultad de CCTT a lo largo del período analizado.

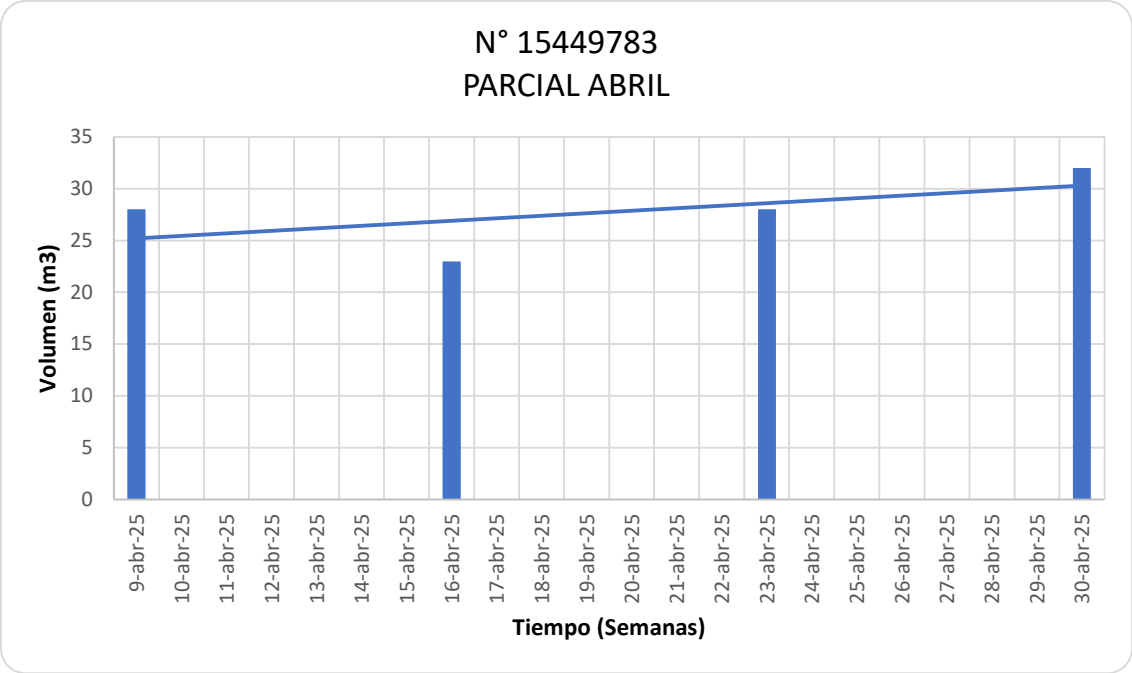
Abril

Medidor N° 2022028084



El gráfico ilustra el consumo semanal parcial del Medidor N° 2022028084 durante el mes de abril de 2025. Los valores oscilan entre 102 y 256 m³ por semana, con un pico notable en la semana del 9 de abril seguido de una caída pronunciada en la semana siguiente. Las dos últimas semanas del mes muestran valores más regulares, sugiriendo una estabilización del consumo hacia el final del período de registro mensual.

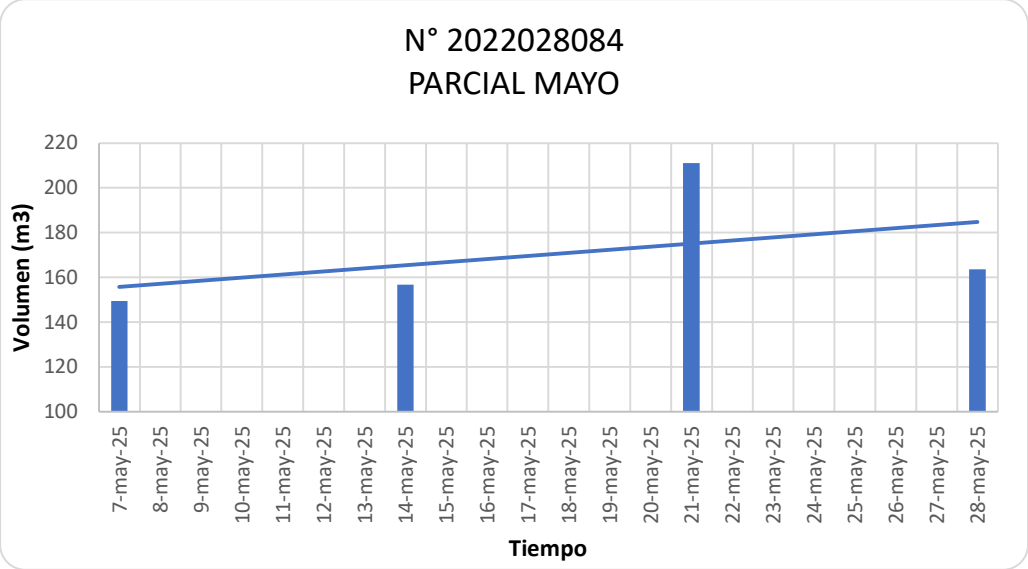
Medidor N° 15449783



El gráfico presenta el consumo semanal parcial del Medidor N° 15449783 durante abril de 2025. Los valores son estables, fluctuando entre 23 y 32 m³ por semana, con los registros más elevados tanto al inicio como al final del mes. Esta regularidad confirma el patrón de consumo constante e independiente del calendario académico que caracteriza a este medidor, el cual registra los valores más bajos y homogéneos de los tres instrumentos analizados.

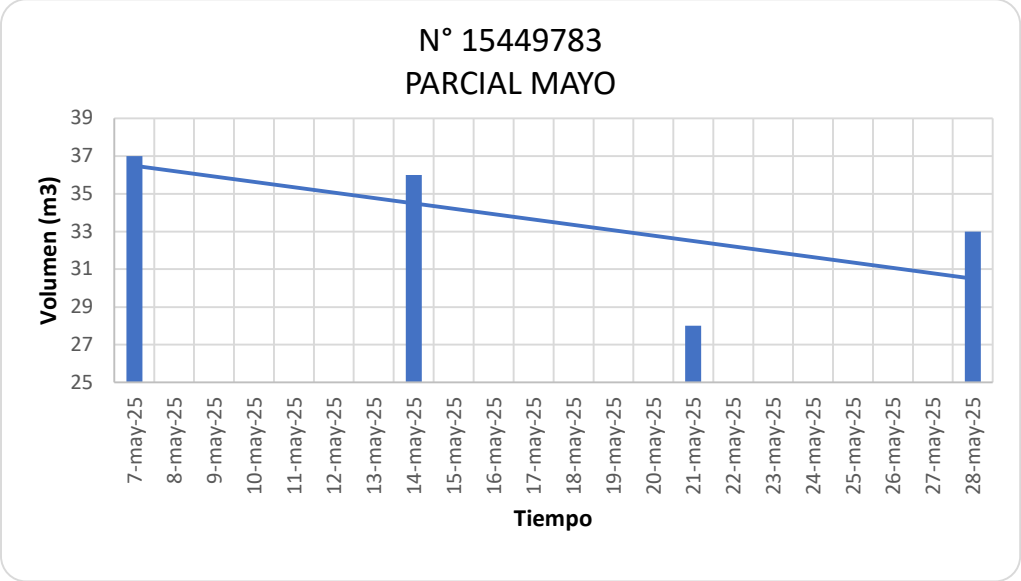
Mayo

Medidor N° 2022028084



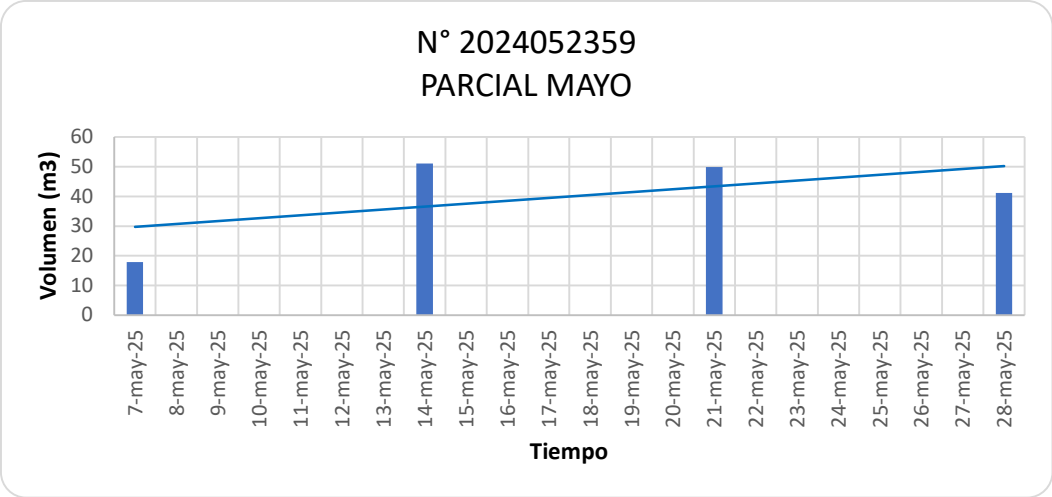
El gráfico muestra el consumo semanal parcial del Medidor N° 2022028084 durante el mes de mayo de 2025. Los valores fluctúan entre 150 y 211 m³ por semana, con una tendencia creciente que coincide con el período de mayor actividad académica del semestre. Los registros son consistentes con los observados en abril, reafirmando la estabilidad del consumo durante el período de clases y el comportamiento predecible de la demanda hídrica en el campus principal.

Medidor N° 15449783



El gráfico ilustra el consumo semanal parcial del Medidor N° 15449783 durante mayo de 2025. Los valores varían entre 28 y 37 m³ por semana, con una leve tendencia descendente a lo largo del mes. Los registros son muy consistentes con los de abril, evidenciando la estabilidad característica de este medidor. La ligera reducción observada al final del mes no representa un cambio significativo en el patrón de consumo de esta zona del campus.

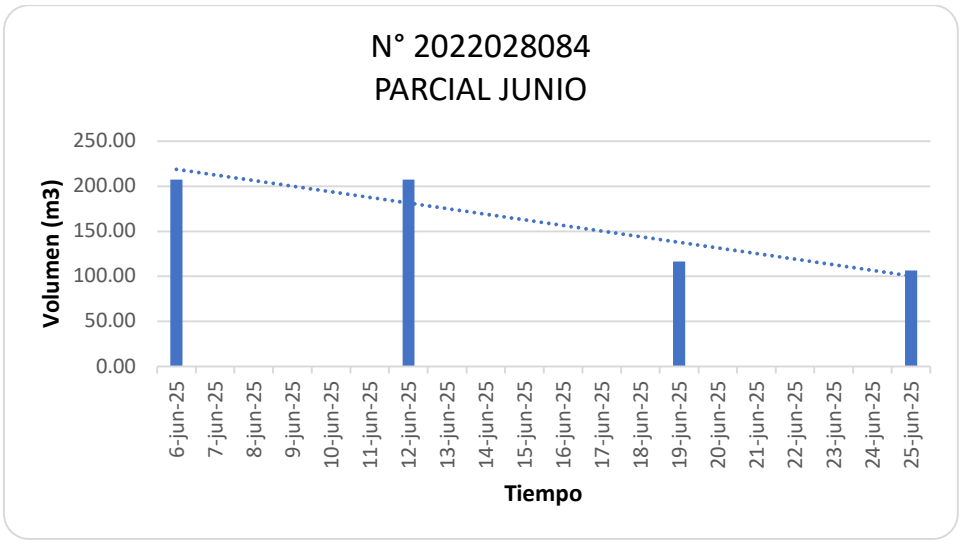
Medidor N° 2024052359



El gráfico presenta el consumo semanal parcial del Medidor N° 2024052359 durante mayo de 2025, primer mes completo de operación de este instrumento. Los valores varían entre 17.93 y 51.05 m³, con una tendencia general creciente que refleja el aumento progresivo de actividades académicas en la Facultad de CCTT. La alta variabilidad entre semanas indica que el consumo de esta zona es más sensible a eventos puntuales que el de los otros medidores.

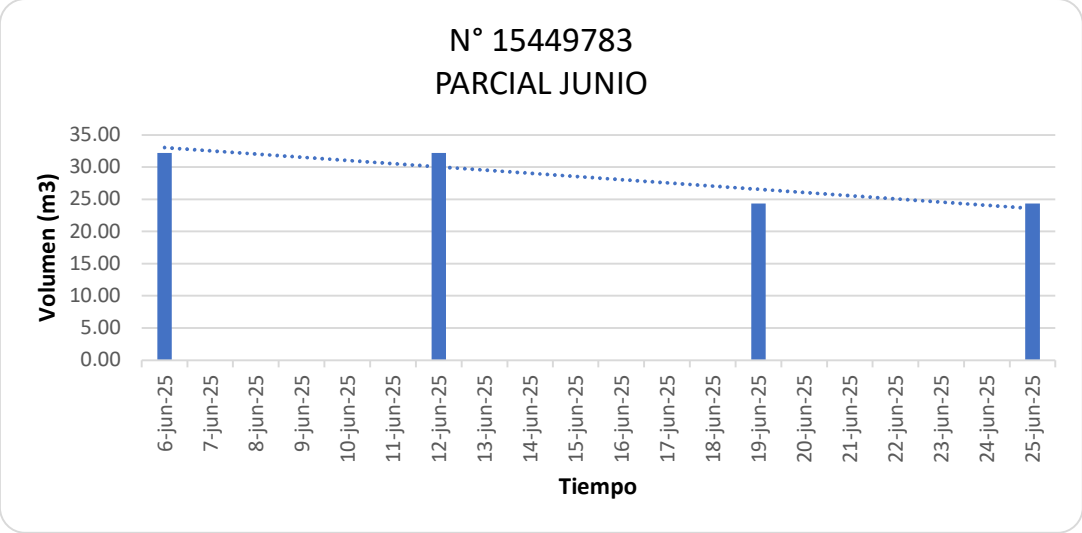
Junio

Medidor N° 2022028084



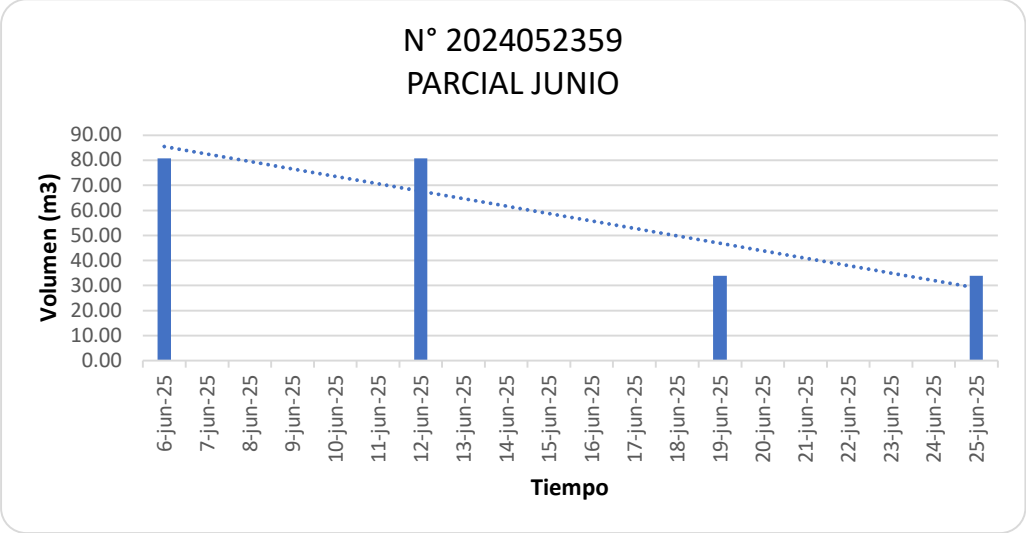
El gráfico muestra el consumo semanal parcial del Medidor N° 2022028084 durante junio de 2025. Los valores oscilan entre 107 y 207 m³, con una tendencia descendente que refleja la disminución de actividades hacia el cierre del semestre y la transición al período vacacional. Esta reducción progresiva es coherente con el menor número de estudiantes y docentes presentes en el campus durante las últimas semanas del ciclo académico.

Medidor N° 15449783



El gráfico ilustra el consumo semanal parcial del Medidor N° 15449783 durante junio de 2025. Los valores presentan mayor variabilidad respecto a meses anteriores, con registros entre 24.37 y 32.22 m³ y una tendencia decreciente. Aunque la variación es más pronunciada que en abril y mayo, los valores se mantienen dentro del rango habitual de este medidor, confirmando el carácter estable de su consumo base incluso al inicio del período de transición vacacional.

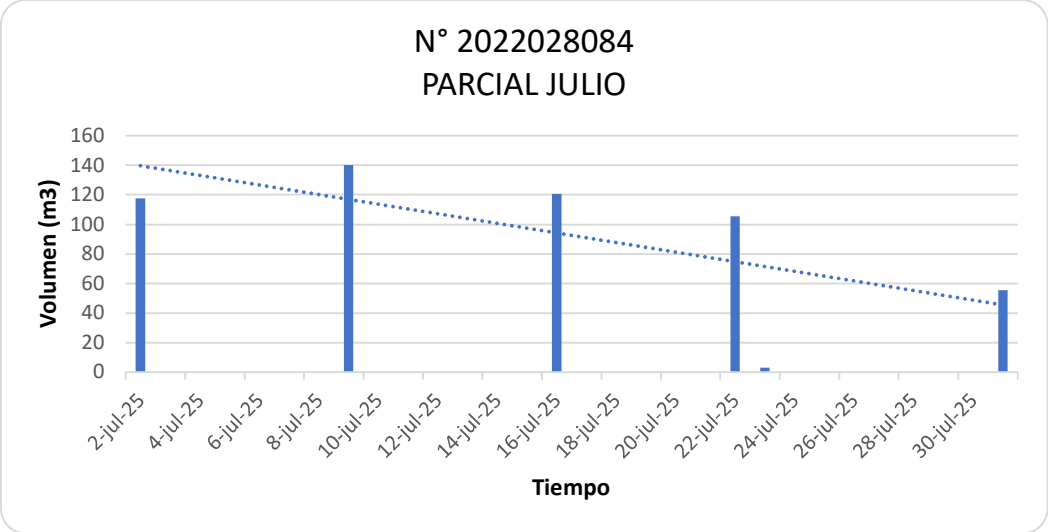
Medidor N° 2024052359



El gráfico presenta el consumo semanal parcial del Medidor N° 2024052359 durante junio de 2025. Los valores varían entre 33.84 y 80.69 m³, con los registros más altos al inicio del mes, cuando la actividad académica era más intensa previo a las evaluaciones finales. La alta variabilidad y los picos de consumo reflejan la naturaleza dinámica del uso del agua en la Facultad de CCTT durante el período de mayor exigencia académica del semestre.

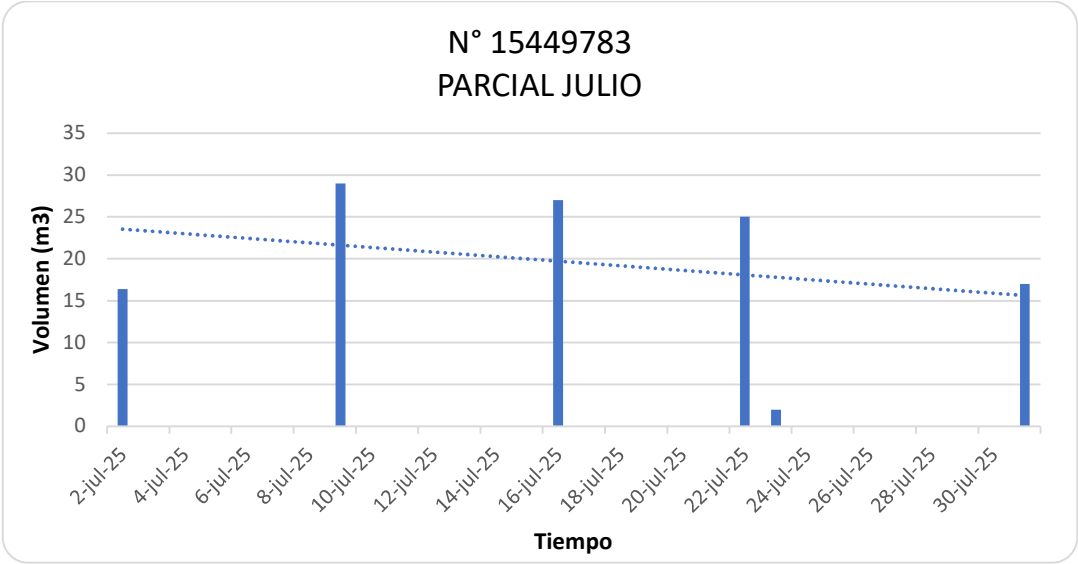
Julio

Medidor N° 2022028084



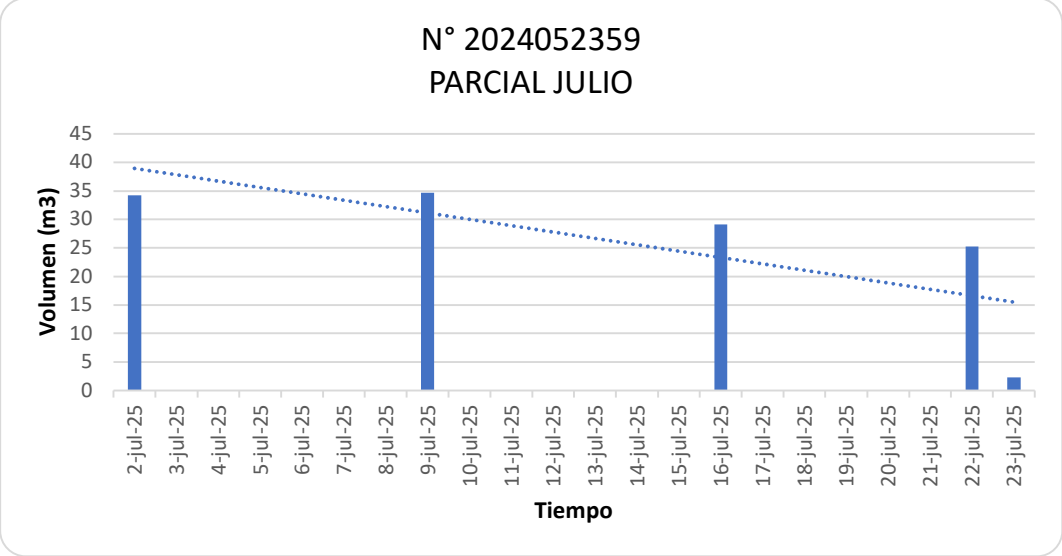
El gráfico muestra el consumo semanal parcial del Medidor N° 2022028084 durante julio de 2025, primer mes del receso académico. Los valores reflejan con claridad la transición entre el período activo y las vacaciones: las primeras semanas registran consumos más elevados, mientras que en las semanas finales el consumo disminuye de forma sostenida. Este patrón de reducción progresiva es consistente con el vaciamiento gradual del campus durante el período de receso.

Medidor N° 15449783



El gráfico ilustra el consumo semanal parcial del Medidor N° 15449783 durante julio de 2025. Los valores presentan la mayor variabilidad registrada para este medidor en todo el período, con registros entre 2 y 29 m³ por semana. Esta irregularidad puede asociarse al menor flujo de personas y al uso más esporádico de la zona durante las vacaciones. Pese a ello, el promedio mensual se mantiene cercano al de los meses anteriores, indicando un consumo base sostenido.

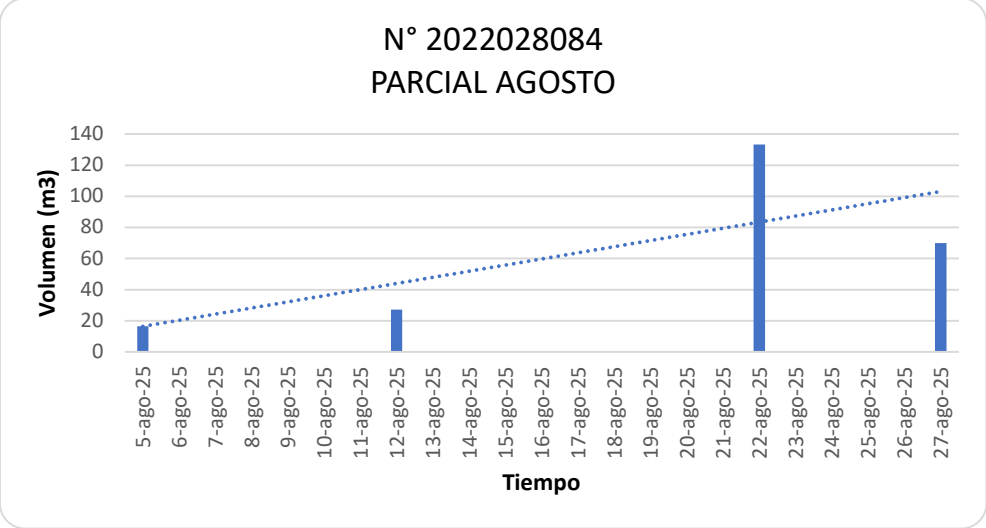
Medidor N° 2024052359



El gráfico presenta el consumo semanal parcial del Medidor N° 2024052359 durante julio de 2025. Los valores son notablemente inferiores a los de mayo y junio, con registros entre 25 y 35 m³ por semana, confirmando que la Facultad de CCTT reduce significativamente su consumo durante el período vacacional. La tendencia es más estable que en los meses de clases, lo que sugiere que el consumo residual vacacional corresponde principalmente a actividades de mantenimiento y servicios básicos.

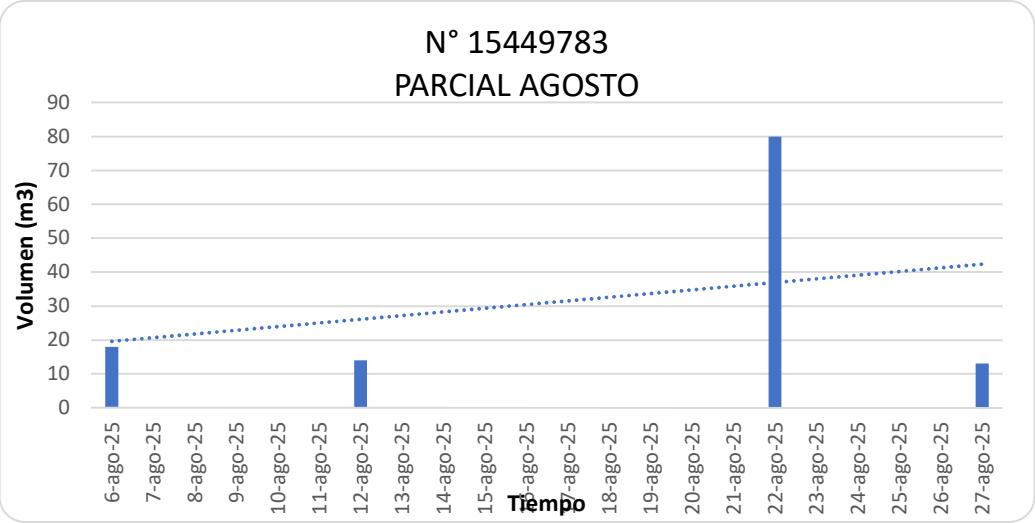
Agosto

Medidor N° 2022028084



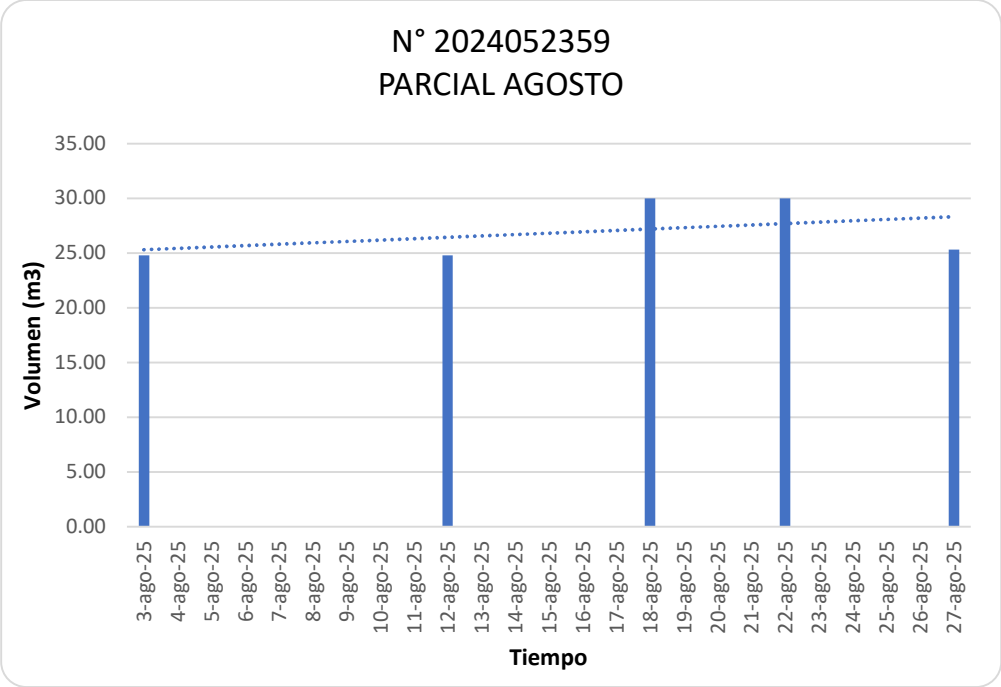
El gráfico muestra el consumo semanal parcial del Medidor N° 2022028084 durante agosto de 2025. Los valores presentan la mayor variabilidad de todo el período: las primeras dos semanas registran consumos muy bajos (16.57 y 27.19 m³), mientras que las últimas semanas alcanzan valores más altos (133.27 y 70 m³). Este repunte al final del mes podría estar asociado a trabajos de mantenimiento o a la preparación de las instalaciones para el retorno a clases del siguiente semestre.

Medidor N° 15449783



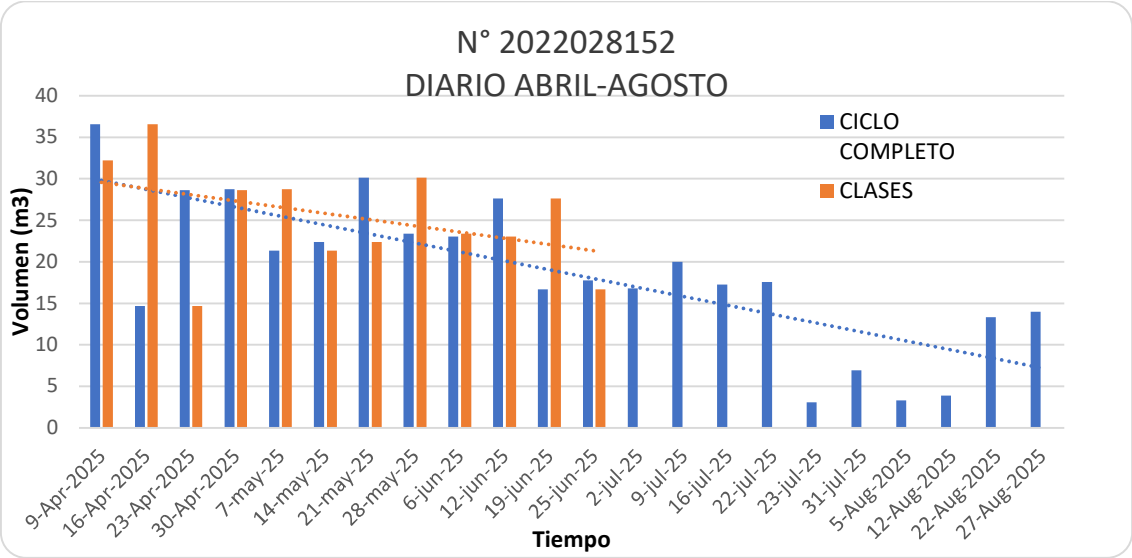
El gráfico ilustra el consumo semanal parcial del Medidor N° 15449783 durante agosto de 2025. Se observa un patrón atípico respecto a los meses anteriores: las semanas del 6 y 12 de agosto muestran consumos muy bajos (18 y 14 m³), mientras que la semana del 22 registra un valor inusualmente alto de 80 m³, posiblemente asociado a un consumo puntual elevado en esa zona. Excluido este valor atípico, el consumo sigue la tendencia habitual del medidor.

Medidor N° 2024052359

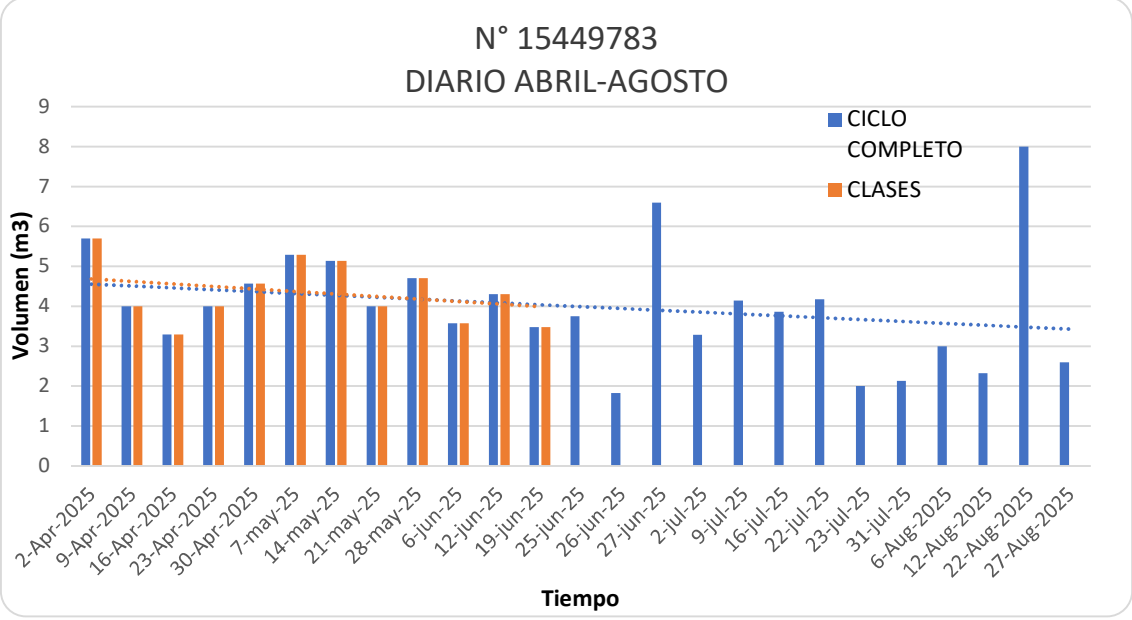


El gráfico presenta el consumo semanal parcial del Medidor N° 2024052359 durante agosto de 2025. Los valores son los más bajos del período de análisis para este medidor, confirmando la marcada reducción del consumo en la Facultad de CCTT durante el segundo mes de vacaciones. El contraste con los registros de mayo y junio evidencia la alta dependencia de esta zona al calendario académico y la correlación directa entre la presencia de usuarios y el uso del agua.

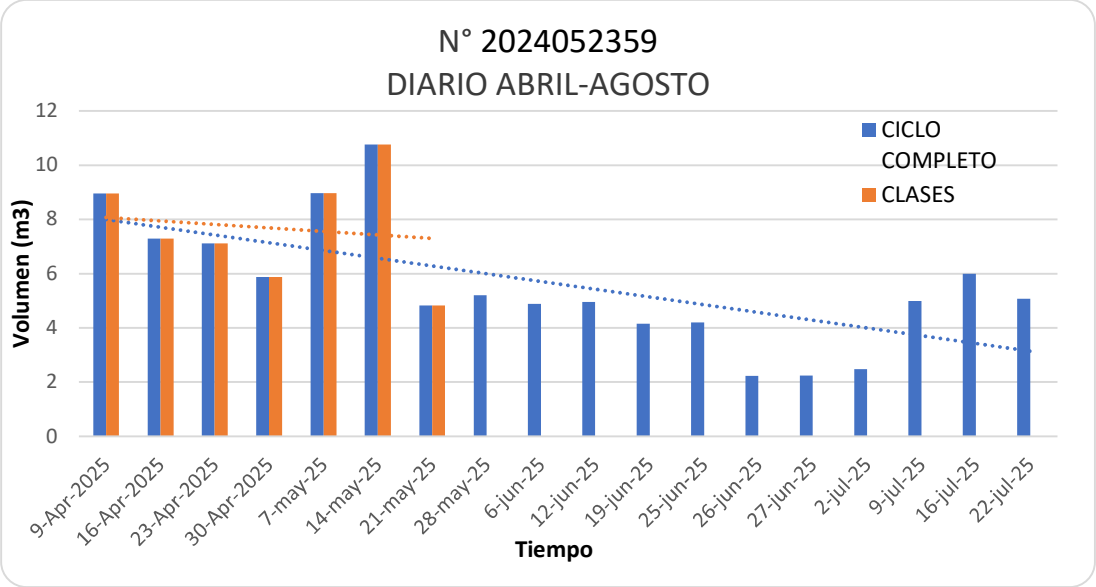
1.1.3 Anexo A.3 - Gráficos Diarios



El gráfico presenta el promedio de consumo diario del Medidor N° 2022028152 a lo largo de las semanas del período abril–agosto 2025. Al igual que el volumen parcial, el promedio diario muestra una tendencia decreciente hacia el final del período, explicada por el receso vacacional universitario. Durante el período de clases la línea es más lineal y estable, reflejando una demanda diaria constante en el campus principal.



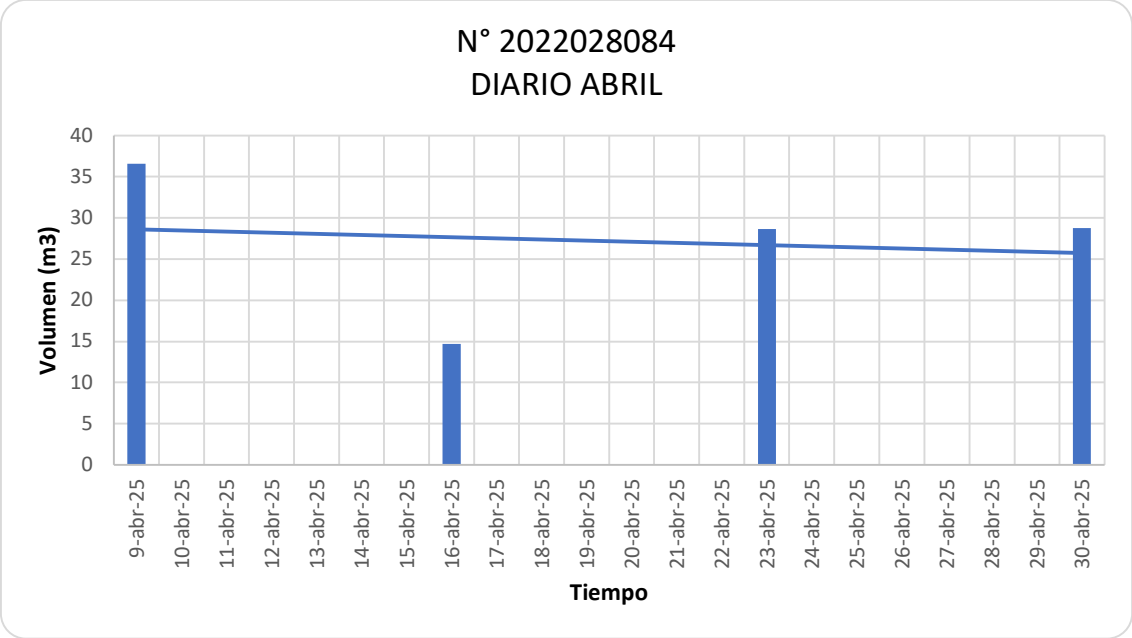
El gráfico muestra el promedio de consumo diario del Medidor N° 15449783 a lo largo del período abril–agosto 2025. A diferencia del medidor anterior, este presenta un comportamiento muy lineal durante todo el período analizado. Comparando la serie completa con la que excluye las vacaciones, se observan valores casi idénticos, confirmando que el consumo diario en esta zona del campus es prácticamente invariable respecto al calendario académico.



El gráfico ilustra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2024052359 durante el período mayo–agosto 2025. Los valores diarios más altos se registran durante los meses de clases de mayo y junio, con promedios de entre 7 y 9 m³ por día, mientras que en los meses de vacaciones el promedio cae a valores de entre 4 y 5 m³ diarios. Este contraste evidencia la fuerte correlación entre la actividad académica y el consumo hídrico en la Facultad de CCTT.

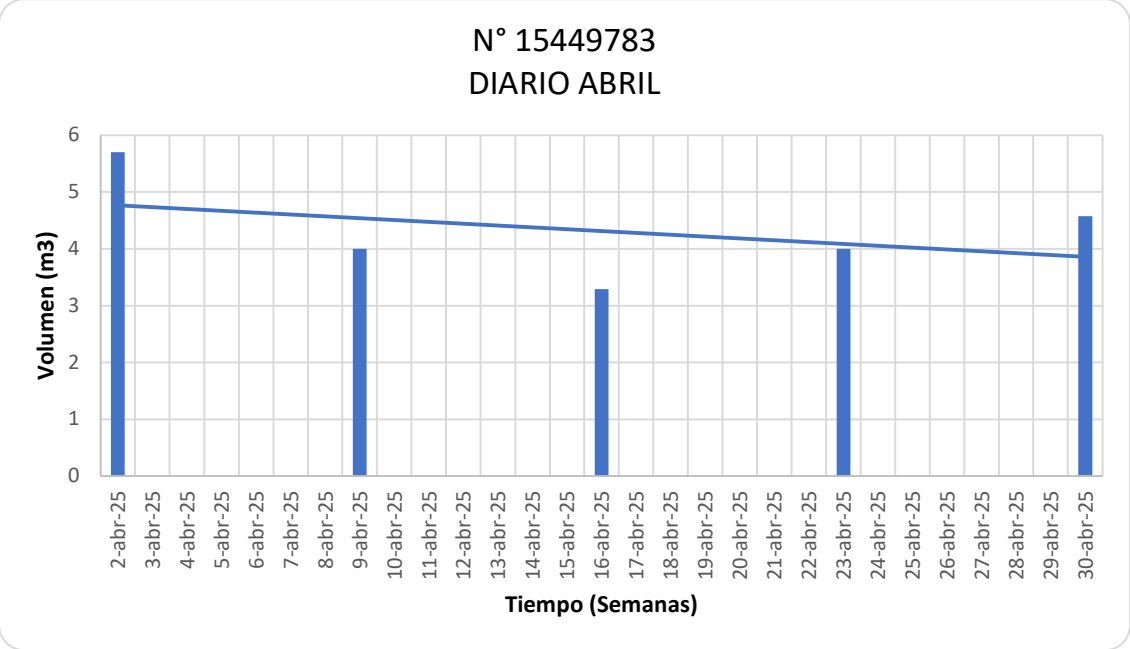
Abril

Medidor N° 2022028084



El gráfico presenta el promedio de consumo diario del Medidor N° 2022028084 durante el mes de abril de 2025. Los valores se mantienen en torno a los 28 m³ por día, con una leve variabilidad entre semanas a excepción de la semana del 16 de abril. La ausencia de una tendencia clara y la estabilidad de los registros son consistentes con un período de actividad académica constante, sin eventos excepcionales que alteren significativamente el patrón de consumo cotidiano del campus.

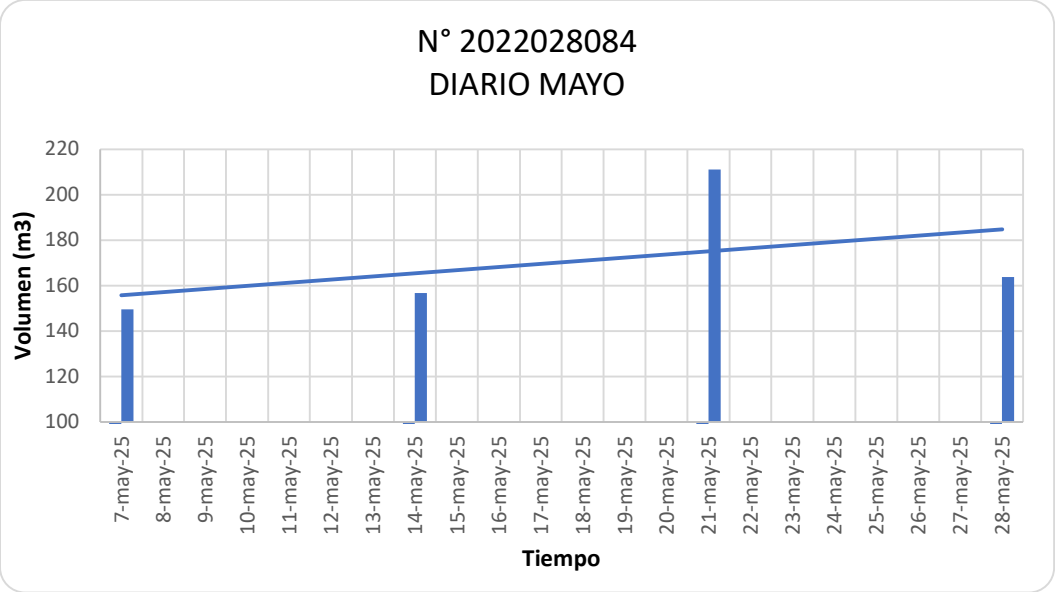
Medidor N° 15449783



El gráfico muestra el promedio de consumo diario del Medidor N° 15449783 durante el mes de abril de 2025. Los valores se ubican alrededor de los 4.3 m³ por día, con registros muy uniformes a lo largo de todo el mes. Esta homogeneidad confirma un patrón de consumo estable e independiente del calendario académico en esta sección del campus, coherente con el carácter constante observado en las otras métricas de este medidor durante el mismo período.

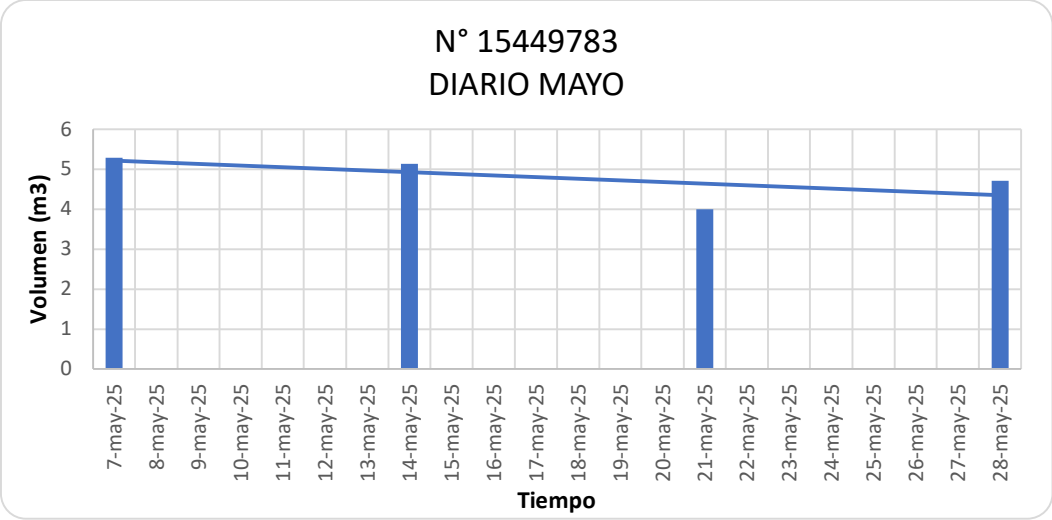
Mayo

Medidor N° 2022028084



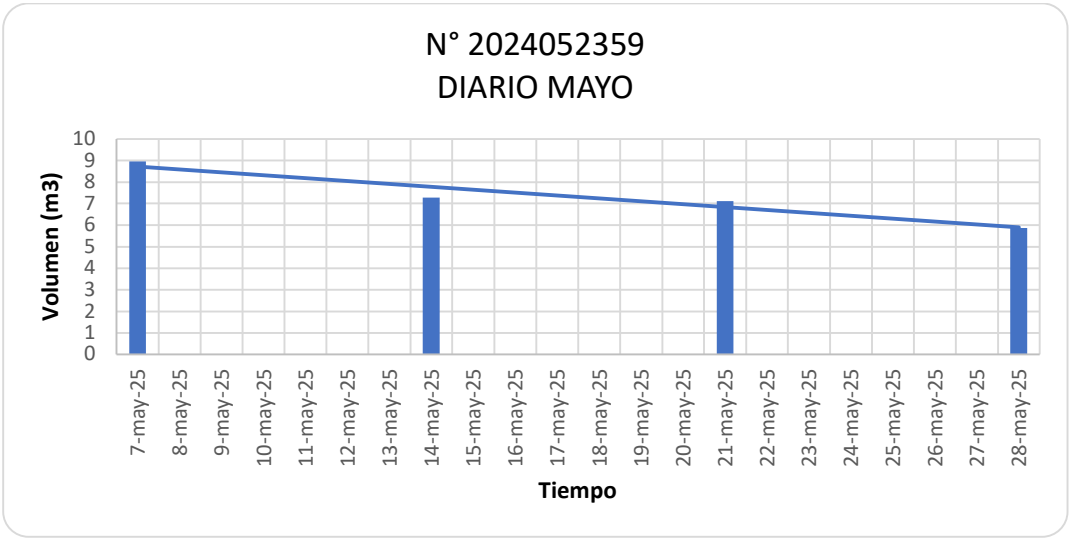
El gráfico ilustra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2022028084 durante el mes de mayo de 2025. Los valores oscilan entre 21 y 30 m³ por día, con una leve tendencia creciente durante el mes. Los registros son similares a los de abril, confirmando la estabilidad del consumo diario durante el semestre activo y facilitando la proyección de la demanda hídrica del campus principal en períodos de clases regulares.

Medidor N° 15449783



El gráfico presenta el promedio de consumo diario del Medidor N° 15449783 durante mayo de 2025. Los valores se ubican en torno a los 5 m³ por día, similares a los del mes anterior, evidenciando la ausencia de cambios significativos en el patrón de consumo dentro del período de clases. La estabilidad del promedio diario de este medidor a lo largo de los meses de actividad académica lo distingue claramente de los otros dos instrumentos analizados.

Medidor N° 2024052359

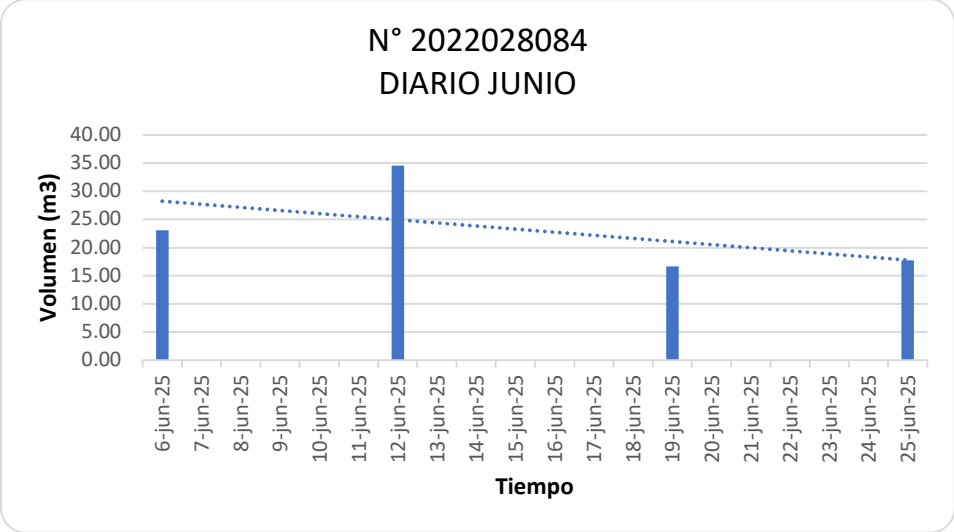


El gráfico muestra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2024052359 durante mayo de 2025. Los valores se ubican entre 6 y 9 m³ por día, con una tendencia ligeramente

descendente hacia el final del mes, similar a la observada en los otros medidores. Este primer mes completo de registro establece el nivel de referencia del consumo diario de la Facultad de CCTT durante el período de mayor actividad académica, evidenciando una demanda moderada y relativamente estable.

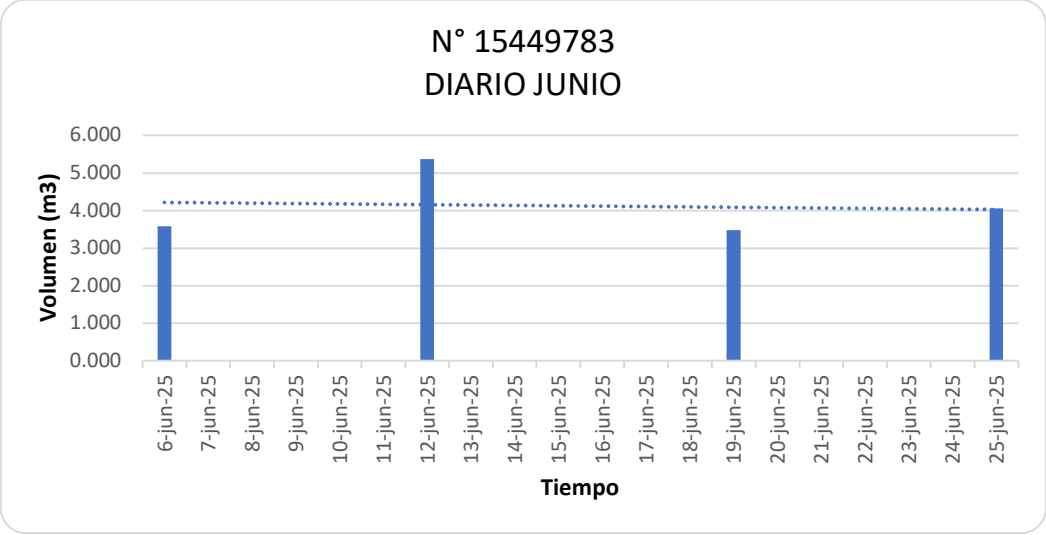
Junio

Medidor N° 2022028084



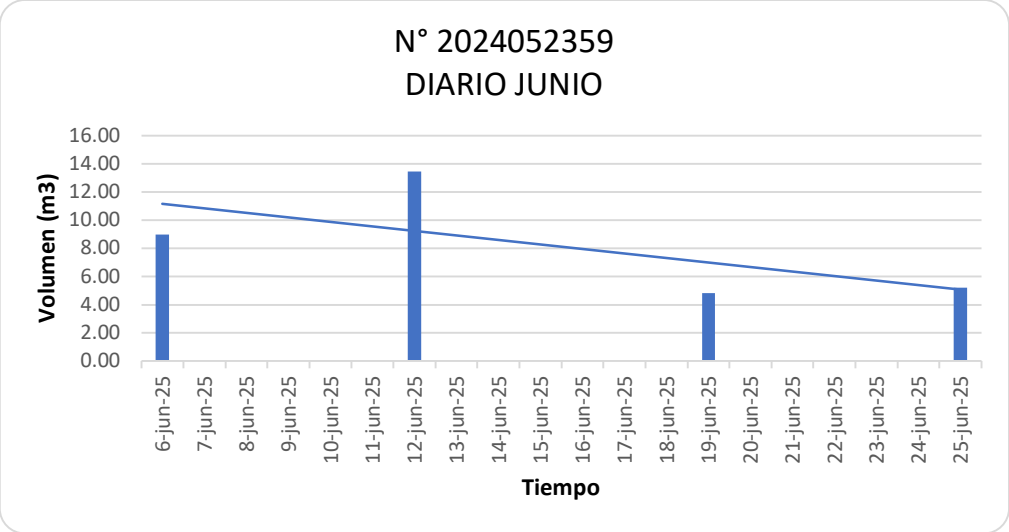
El gráfico ilustra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2022028084 durante junio de 2025. Los valores rondan los 23 m³ por día, ligeramente inferiores a los de mayo, lo que es consistente con la reducción gradual de la ocupación del campus hacia el cierre del semestre. La leve disminución observada anticipa la caída más pronunciada que se registrará en los meses de vacaciones, marcando el inicio de la transición entre el período activo y el receso universitario.

Medidor N° 15449783



El gráfico presenta el promedio de consumo diario del Medidor N° 15449783 durante junio de 2025. El promedio mensual es de 4.47 m³ por día, coherente con los valores de abril y mayo. Este medidor continúa siendo el más estable e independiente del calendario académico de los tres analizados, con variaciones mínimas entre meses de distinta intensidad académica, confirmando el carácter constante de la demanda en su zona de cobertura.

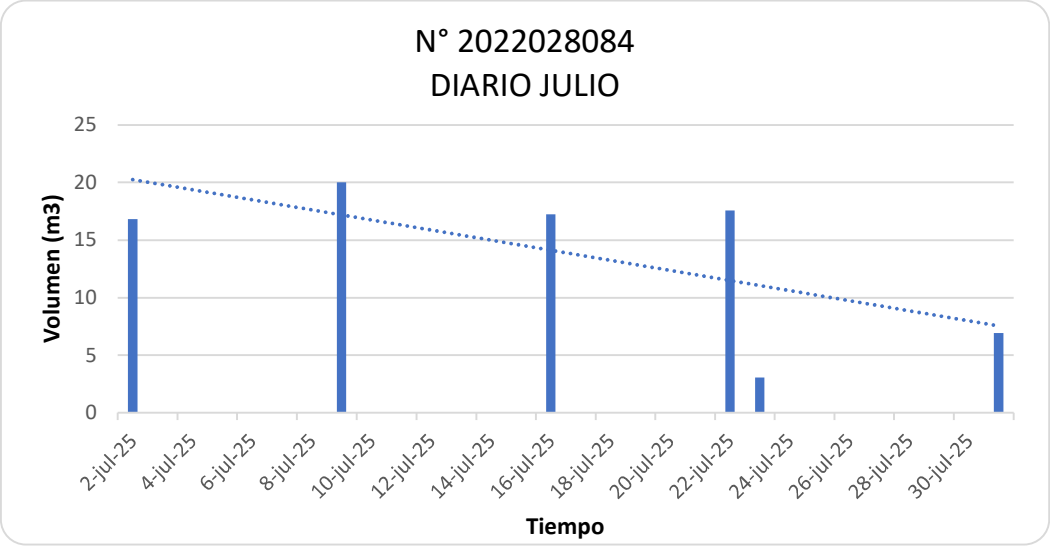
Medidor N° 2024052359



El gráfico muestra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2024052359 durante junio de 2025. El promedio mensual es de 9.33 m³ por día, el valor más alto registrado para este medidor en los cinco meses de análisis. Este pico refleja la alta actividad en la Facultad de CCTT durante el período de exámenes finales del semestre, cuando la presencia de estudiantes y el uso de instalaciones alcanza su nivel máximo antes del receso vacacional.

Julio

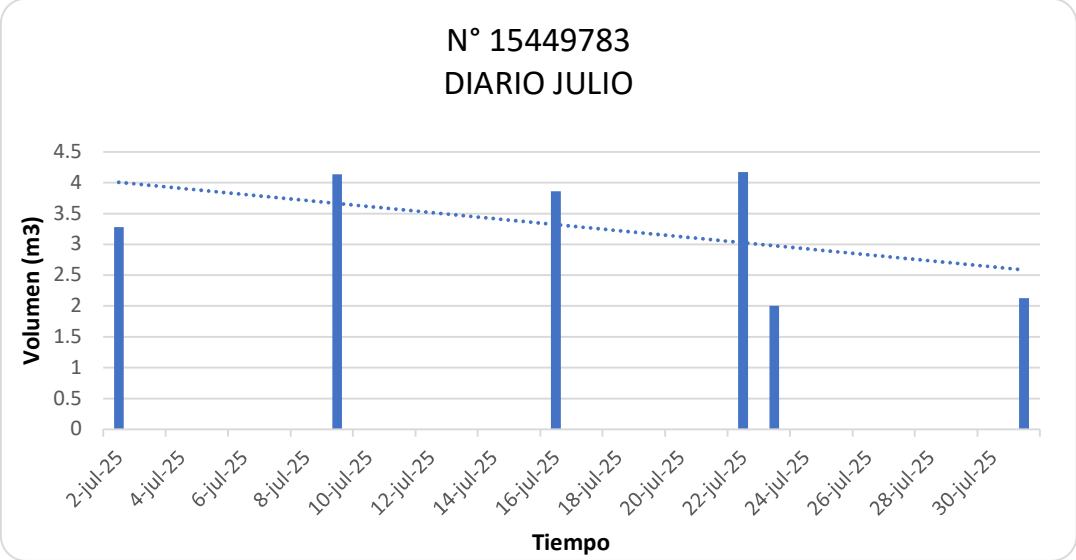
Medidor N° 2022028084



El gráfico ilustra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2022028084 durante julio de 2025. Los valores caen significativamente respecto a los meses de clases, partiendo

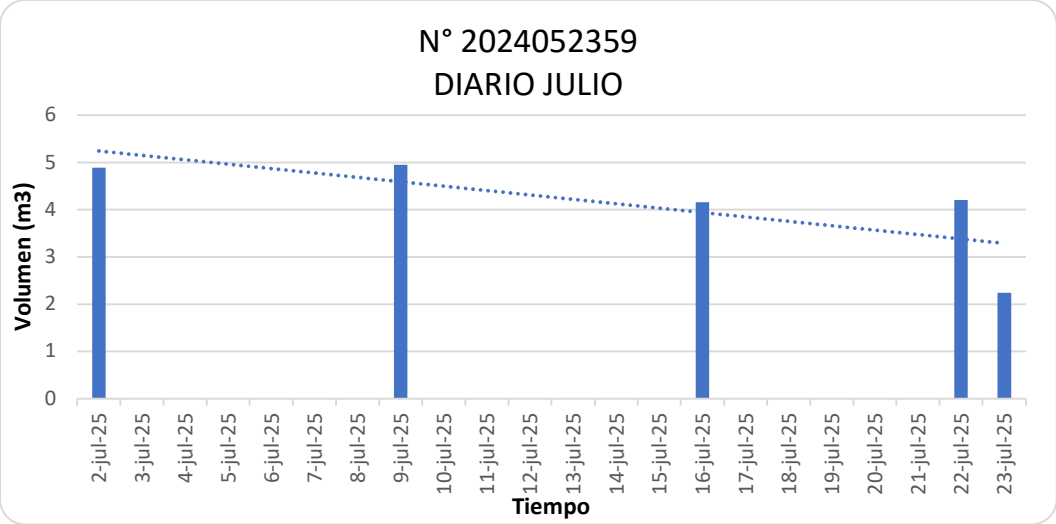
de cerca de 20 m³ al inicio del mes y descendiendo hasta menos de 7 m³ en las últimas semanas. Esta reducción progresiva ratifica el impacto del período vacacional sobre el consumo del campus principal y evidencia la correlación directa entre la presencia de usuarios y la demanda hídrica diaria.

Medidor N° 15449783



El gráfico presenta el promedio de consumo diario del Medidor N° 15449783 durante julio de 2025. Los valores muestran una caída respecto a los meses anteriores, principalmente en las últimas semanas cuando el receso vacacional está más avanzado, llevando el promedio general del mes a 3.24 m³ por día. No obstante, la reducción es menos pronunciada que en los otros medidores, reafirmando que esta zona mantiene un nivel de consumo base más estable durante las vacaciones.

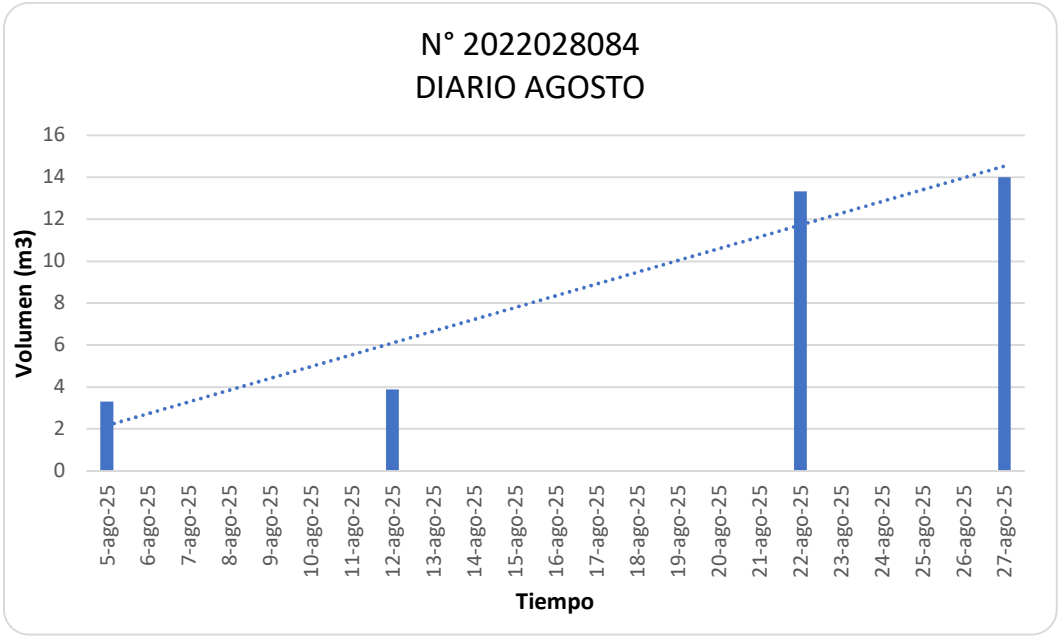
Medidor N° 2024052359



El gráfico muestra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2024052359 durante julio de 2025. Los valores bajan a cerca de 4 m³ por día, comparado con los 7-9 m³ registrados durante los meses de clases. Este descenso relativo es el más significativo de los tres medidores en términos porcentuales, reflejando la alta dependencia del consumo de la Facultad de CCTT a la presencia activa de la comunidad universitaria en las instalaciones.

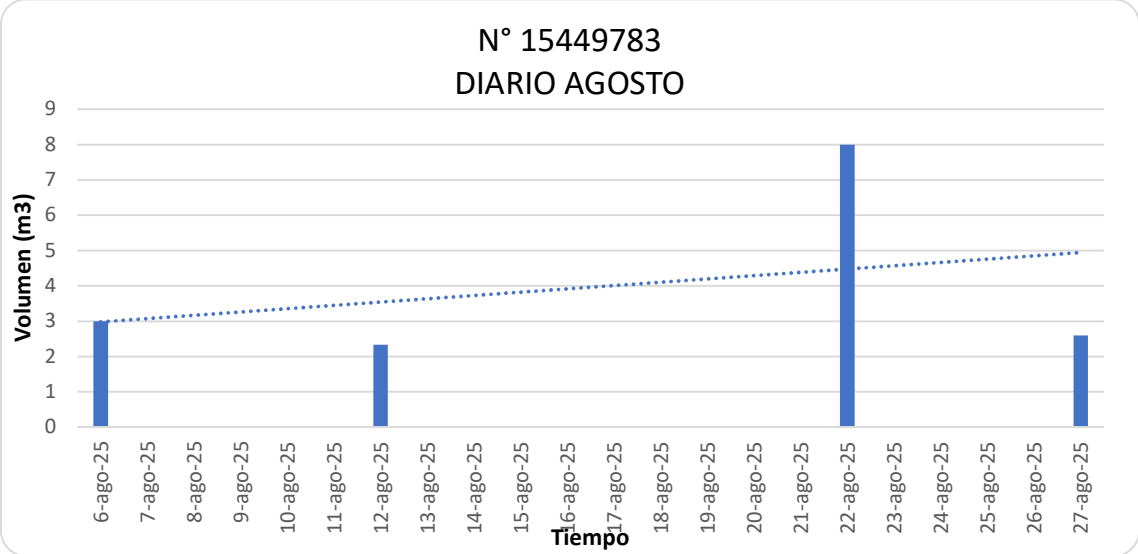
Agosto

Medidor N° 2022028084



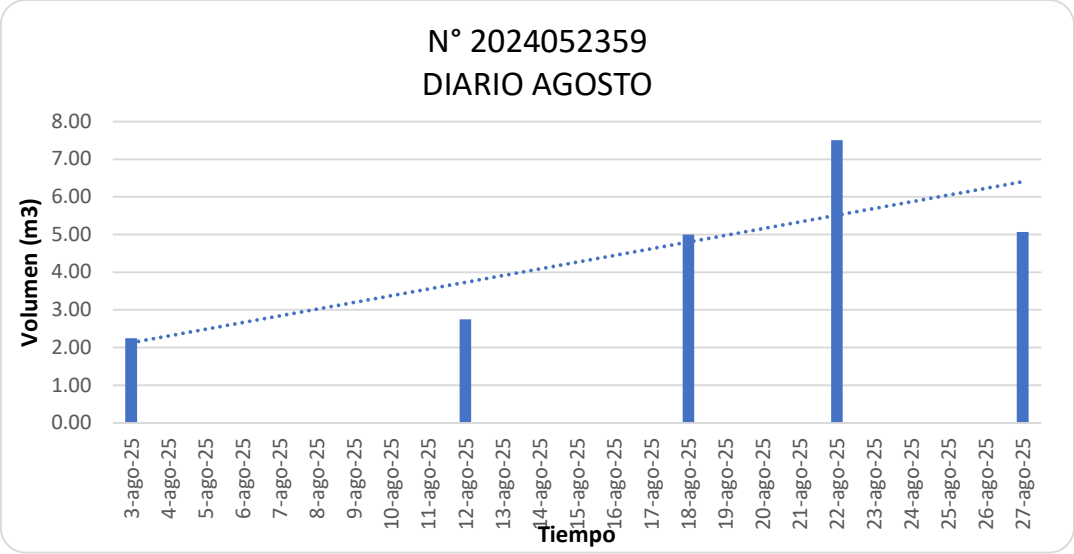
El gráfico ilustra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2022028084 durante agosto de 2025. Los valores son los más variables del período, cayendo a 3.31 m³ en la primera semana y recuperándose hasta 13.33 m³ en la tercera semana. Esta irregularidad refleja el uso esporádico del campus al final de las vacaciones, posiblemente relacionado con actividades de mantenimiento y preparación de instalaciones para el inicio del nuevo semestre académico.

Medidor N° 15449783



El gráfico presenta el promedio de consumo diario del Medidor N° 15449783 durante agosto de 2025. Los valores presentan la mayor variabilidad del período de análisis para este medidor, oscilando entre 2.33 y 8 m³ por día. Esta irregularidad refleja el uso más esporádico e impredecible de la zona durante el período vacacional, marcando un contraste notable con la homogeneidad que caracteriza los registros de este medidor durante los meses de actividad académica regular.

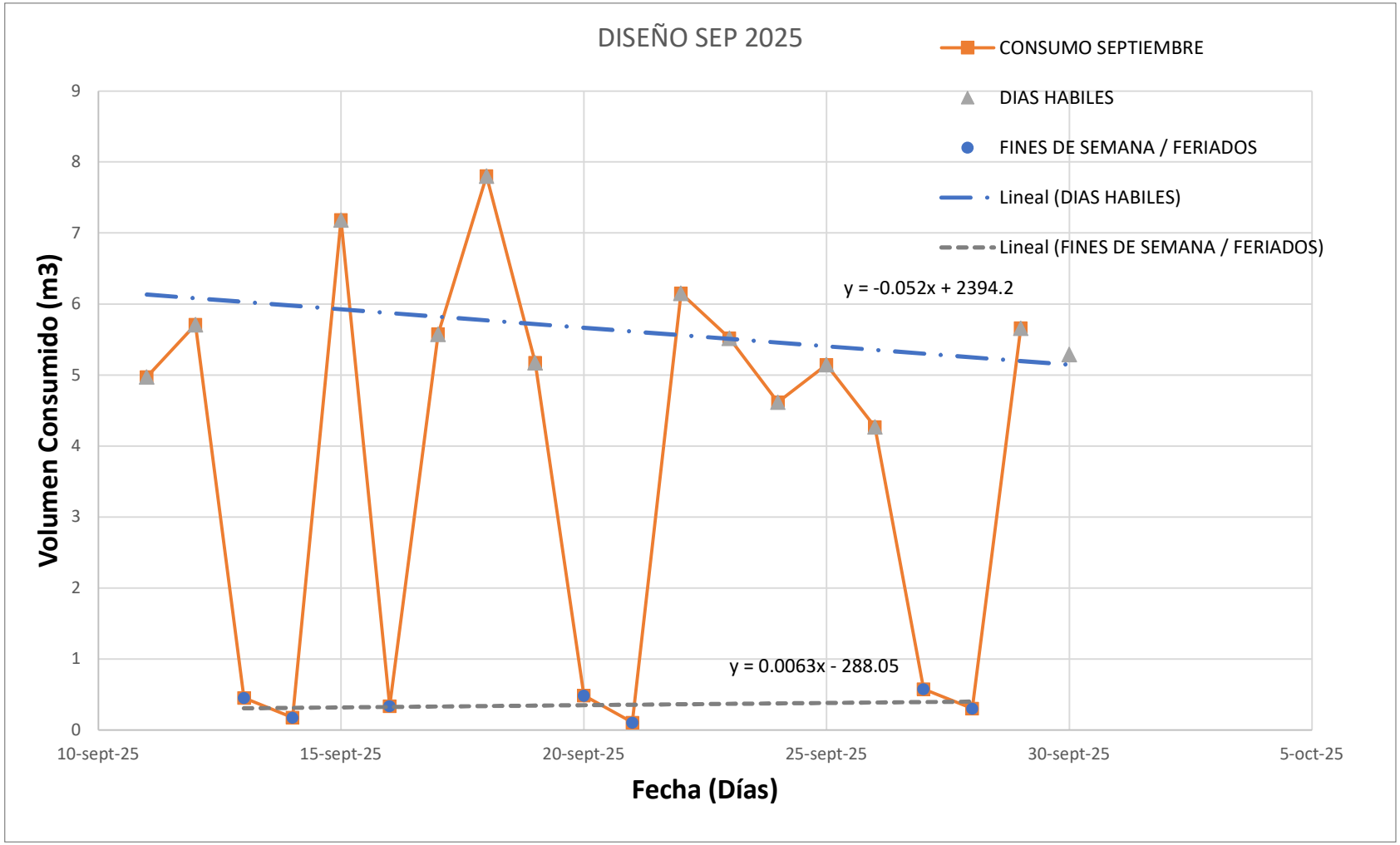
Medidor N° 2024052359

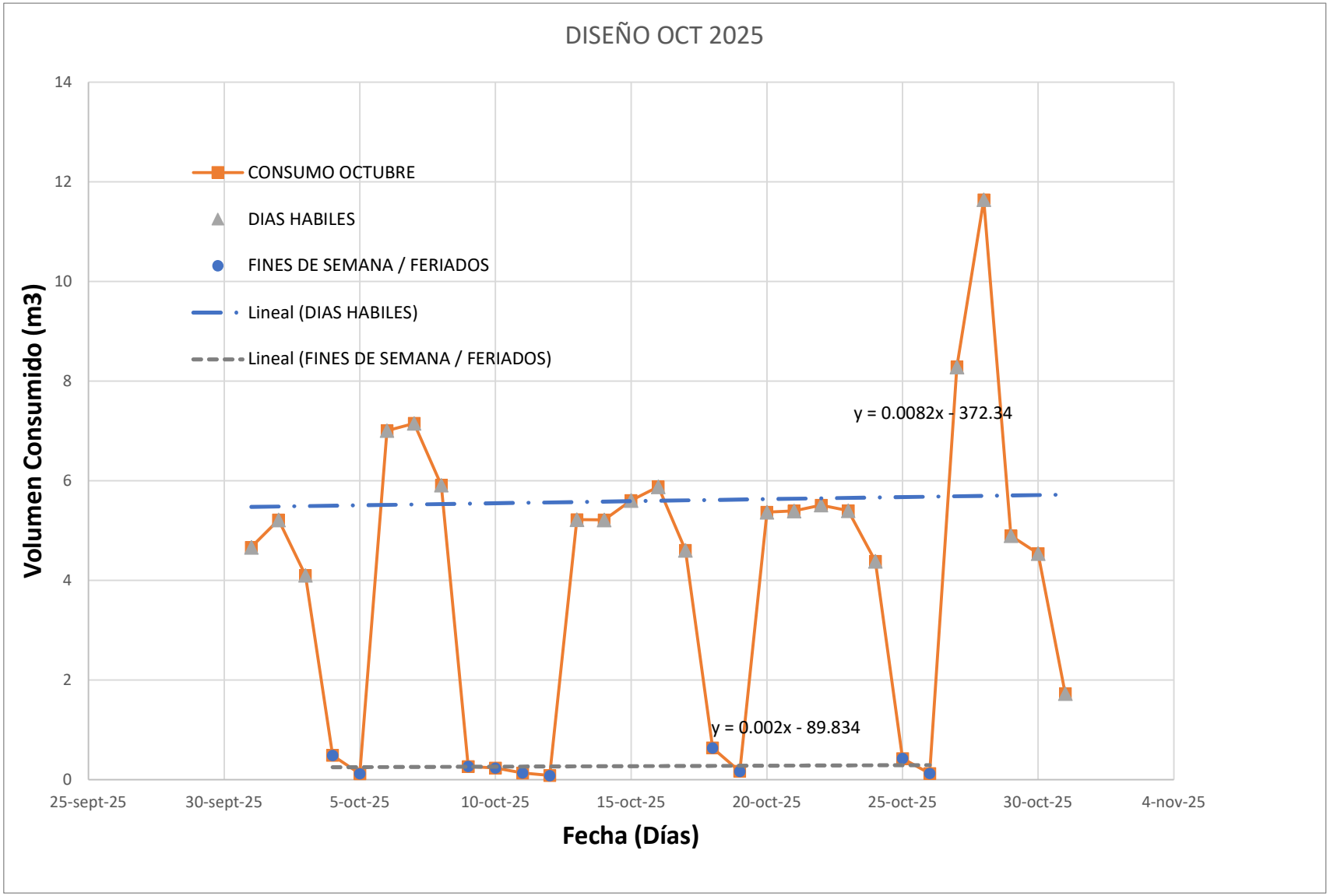


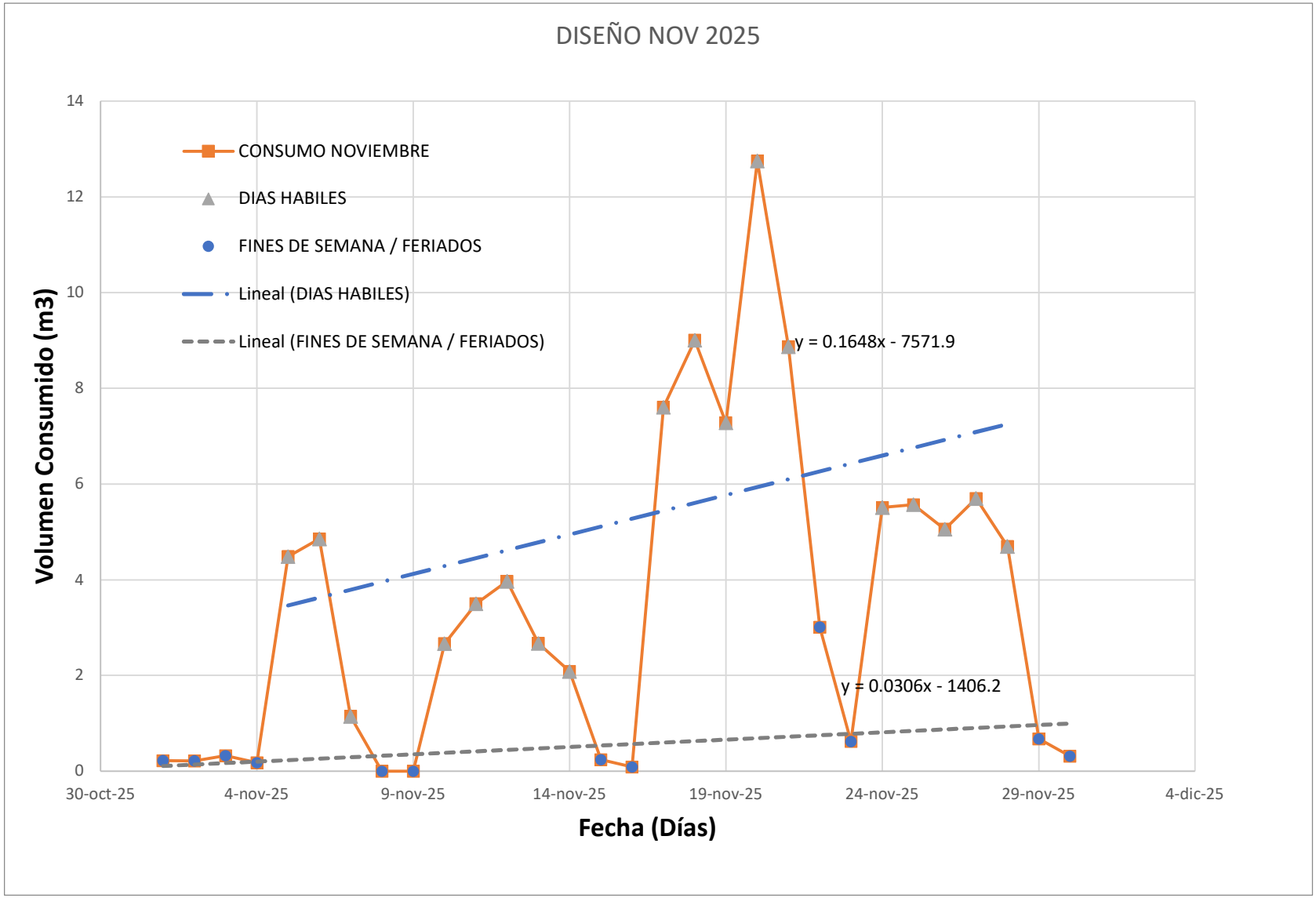
El gráfico muestra el promedio de consumo diario del Medidor N° 2024052359 durante agosto de 2025. Los valores registrados son los más bajos de los cinco meses de análisis para este medidor, completando el patrón claro de reducción progresiva del consumo desde junio hasta agosto. La comparación entre los meses de clases y los meses de vacaciones confirma que el consumo diario de la Facultad de CCTT se reduce aproximadamente a la mitad durante el período de receso académico.

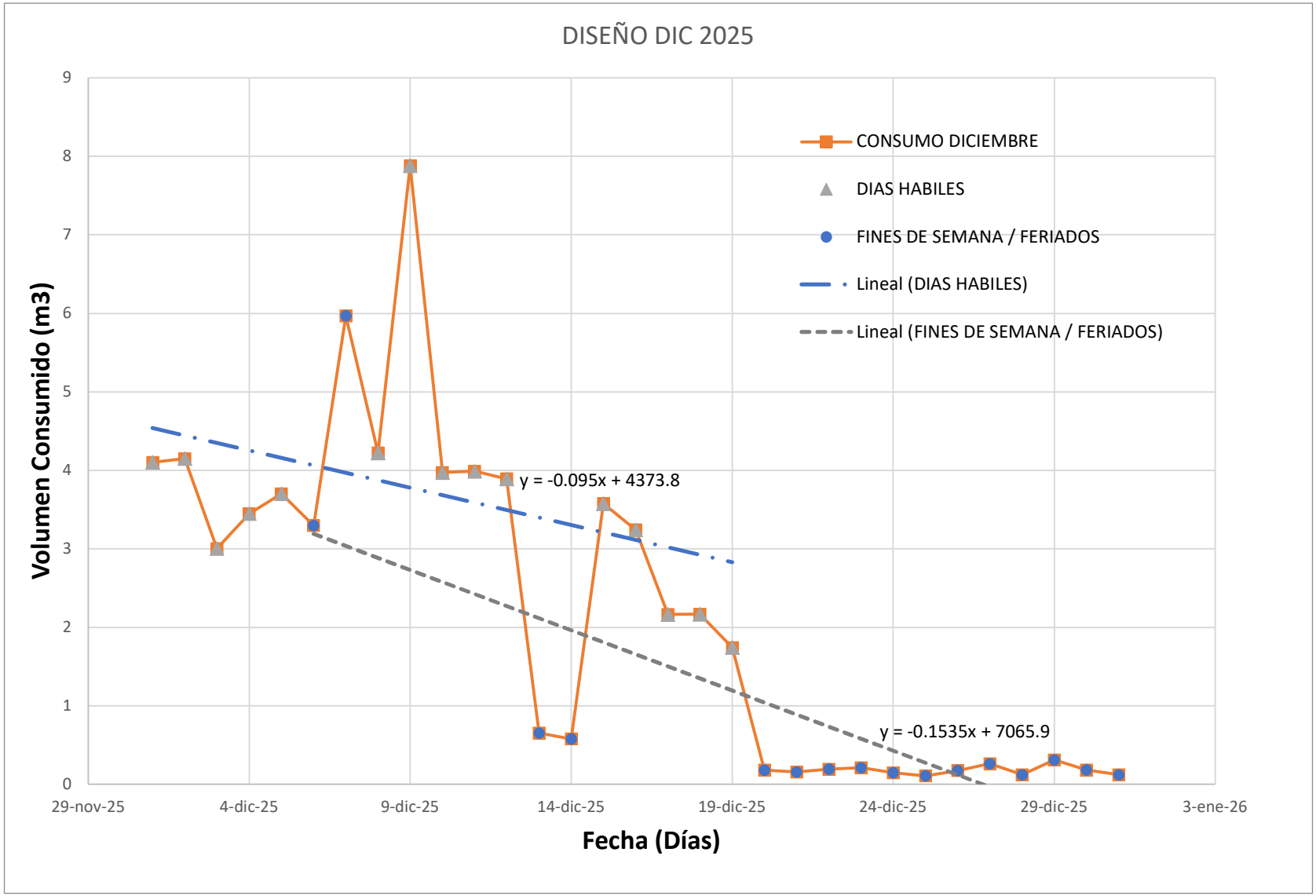
1.2 Anexo B

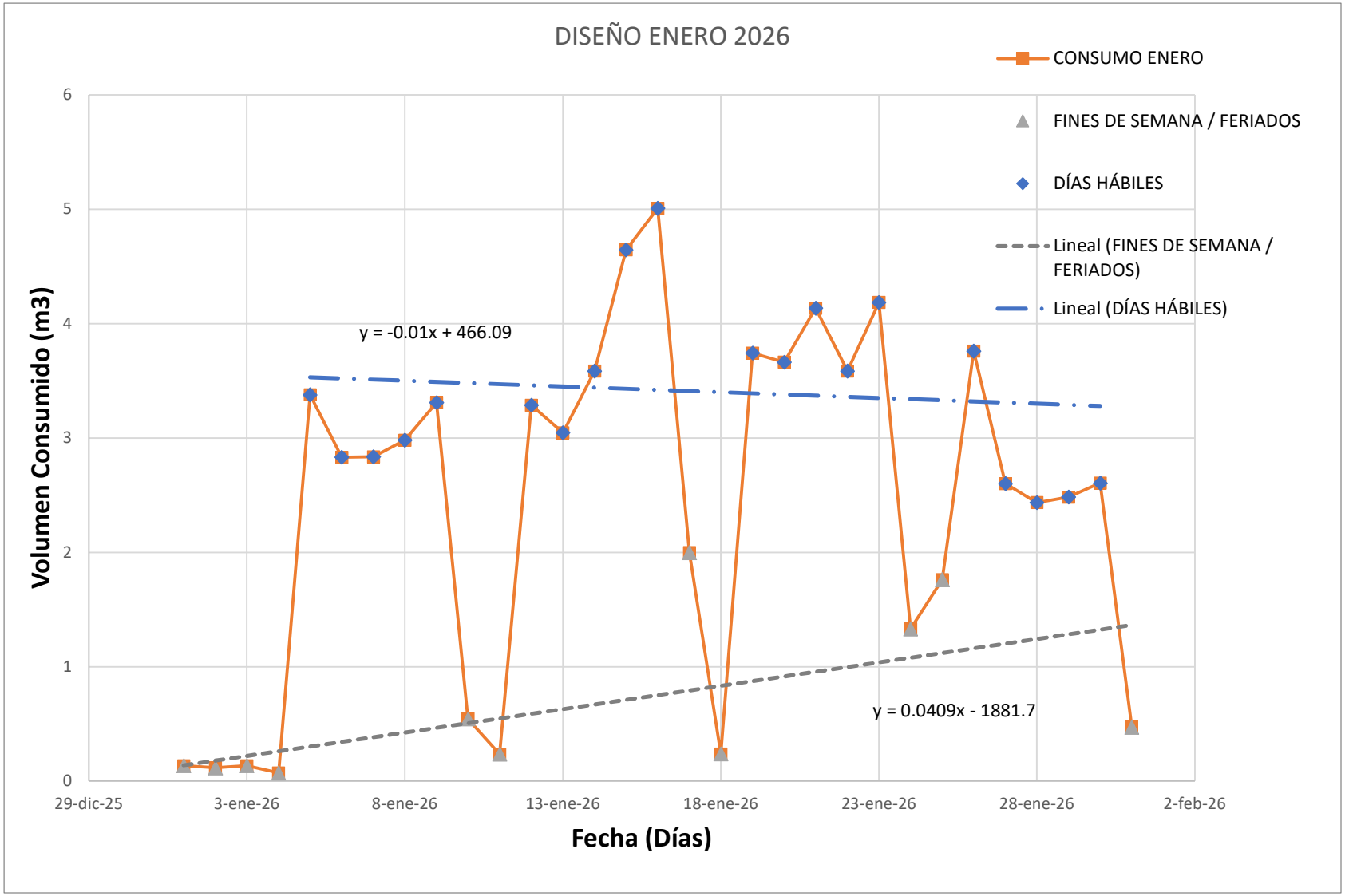
1.2.1 Anexo B.1 - Facultad de Diseño

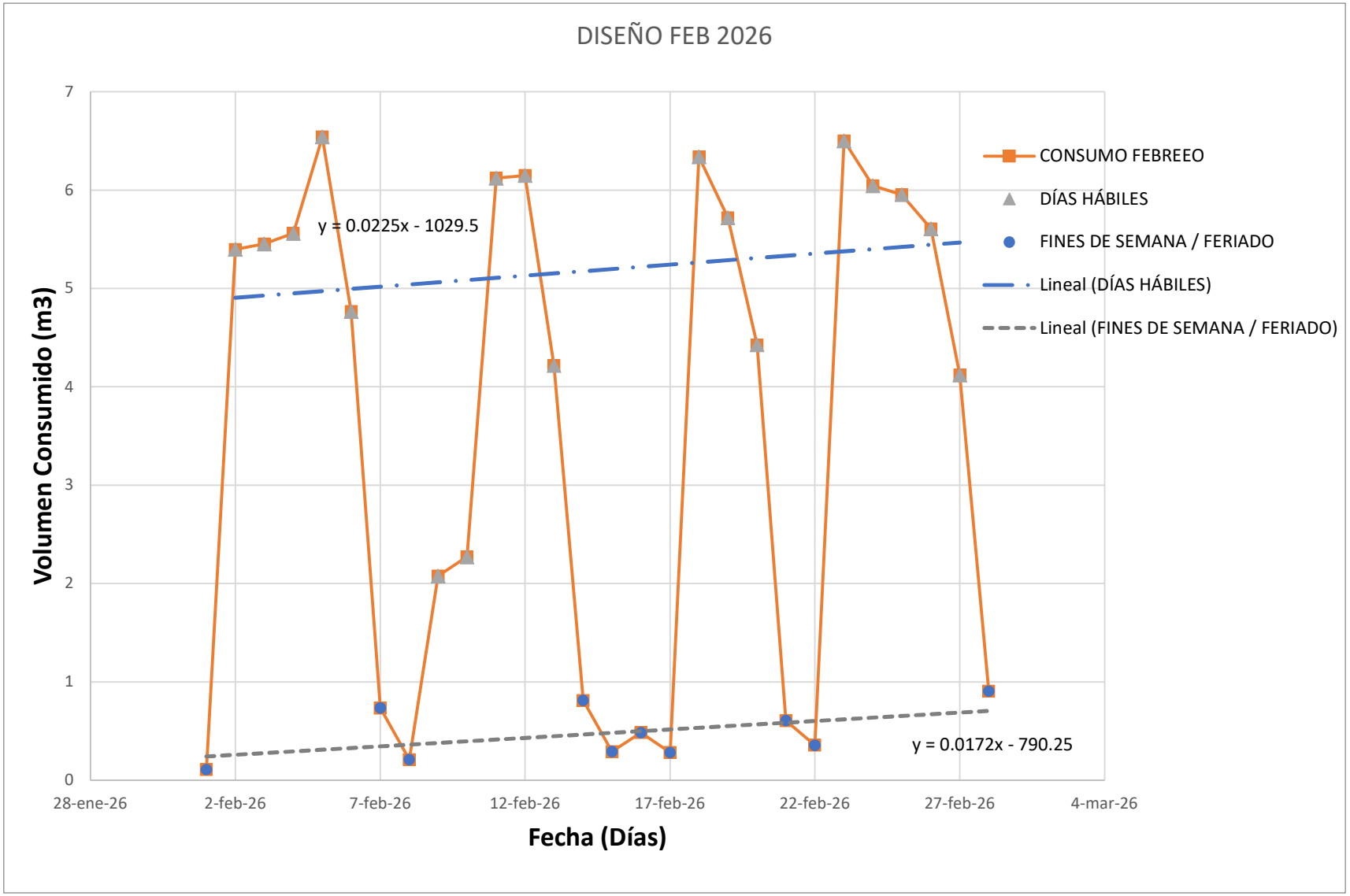


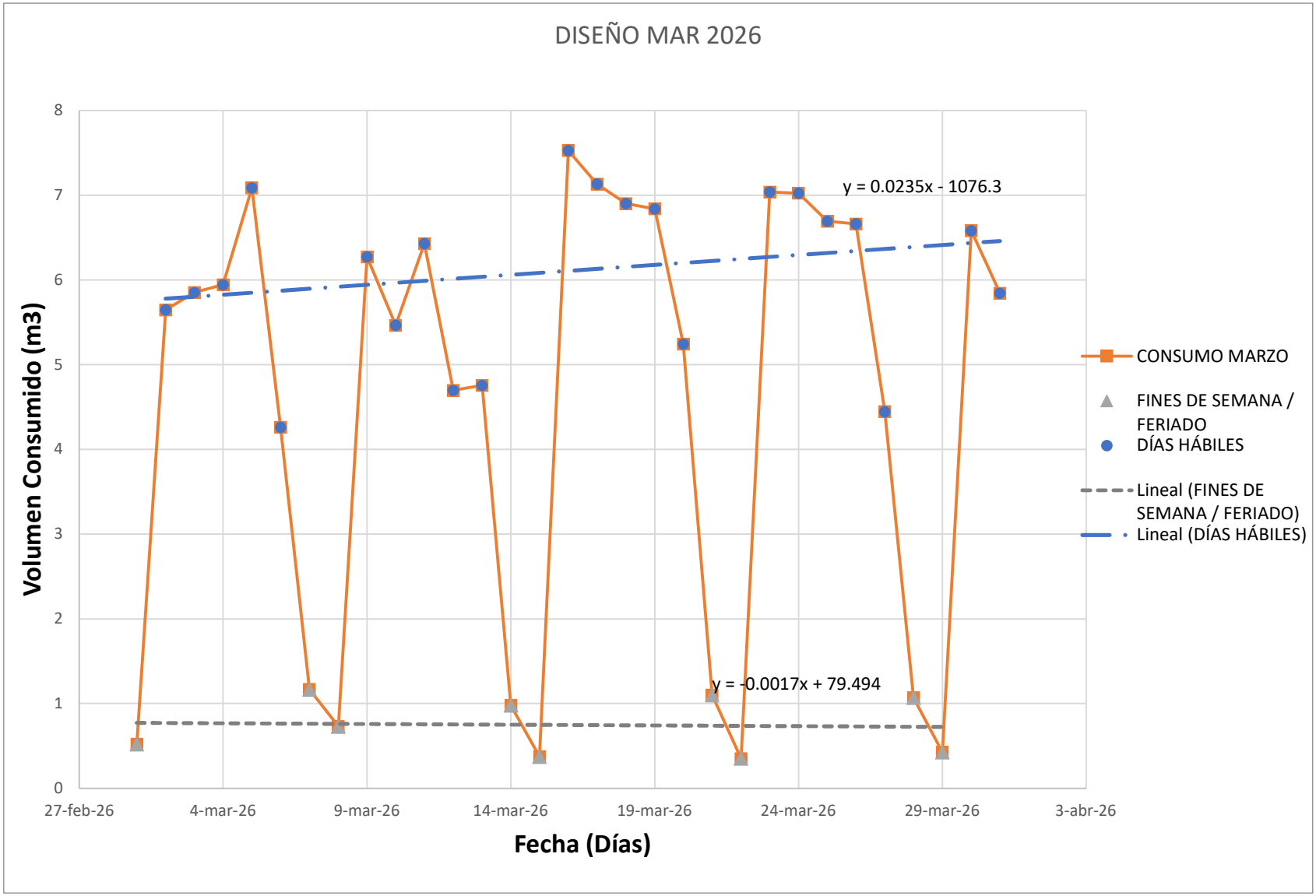

DISEÑO OCT 2025
CONSUMO OCTUBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = 0.0082x - 372.34
y = 0.002x - 89.834
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
2
4
6
8
10
12
14
25-sept-25
30-sept-25
5-oct-25
10-oct-25
15-oct-25
20-oct-25
25-oct-25
30-oct-25
4-nov-25


DISEÑO NOV 2025
CONSUMO NOVIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = 0.1648x - 7571.9
y = 0.0306x - 1406.2
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
2
4
6
8
10
12
14
30-oct-25
4-nov-25
9-nov-25
14-nov-25
19-nov-25
24-nov-25
29-nov-25
4-dic-25

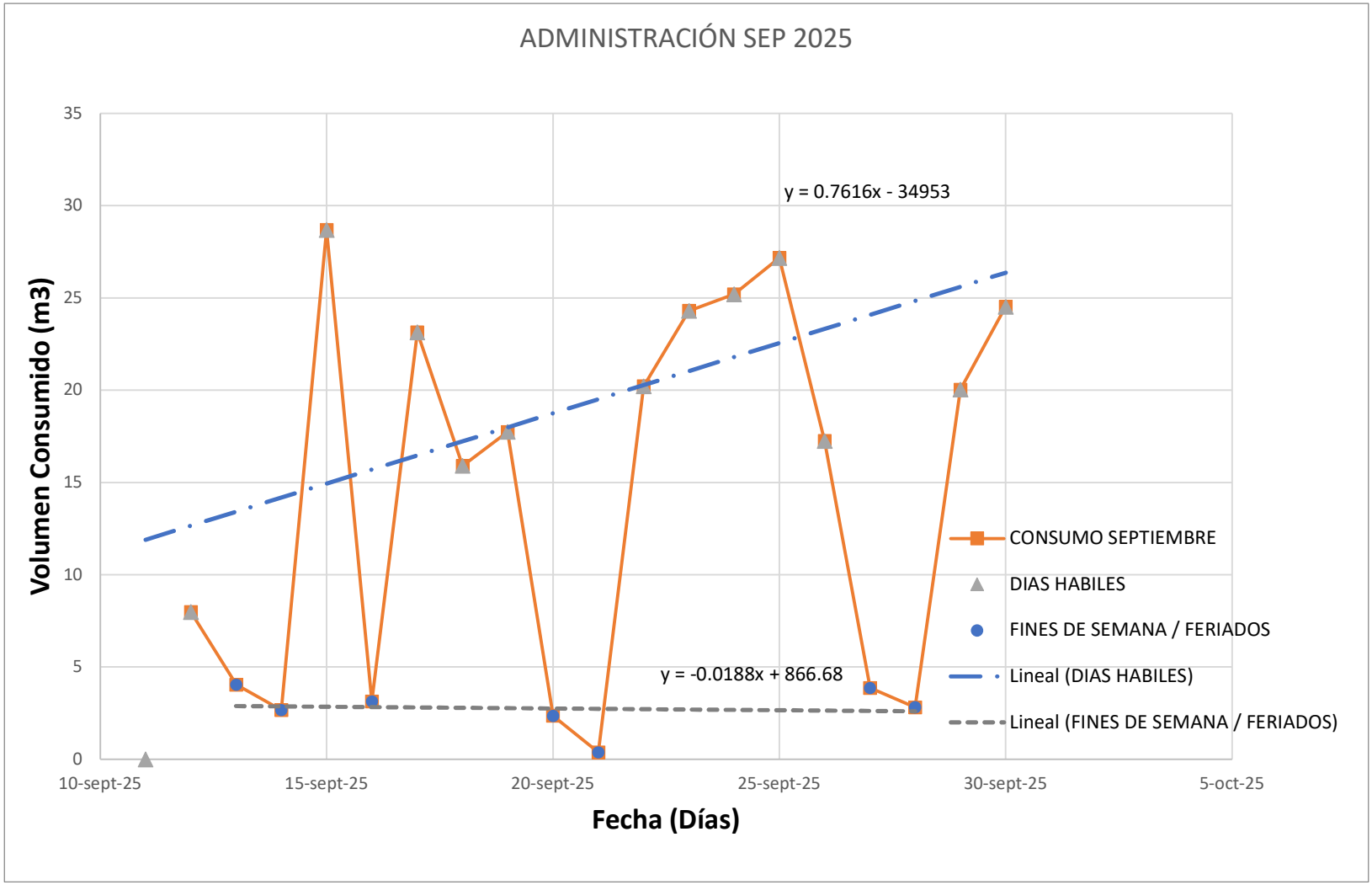

DISEÑO DIC 2025
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
CONSUMO DICIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = -0.095x + 4373.8
y = -0.1535x + 7065.9
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
29-nov-25
4-dic-25
9-dic-25
14-dic-25
19-dic-25
24-dic-25
29-dic-25
3-ene-26

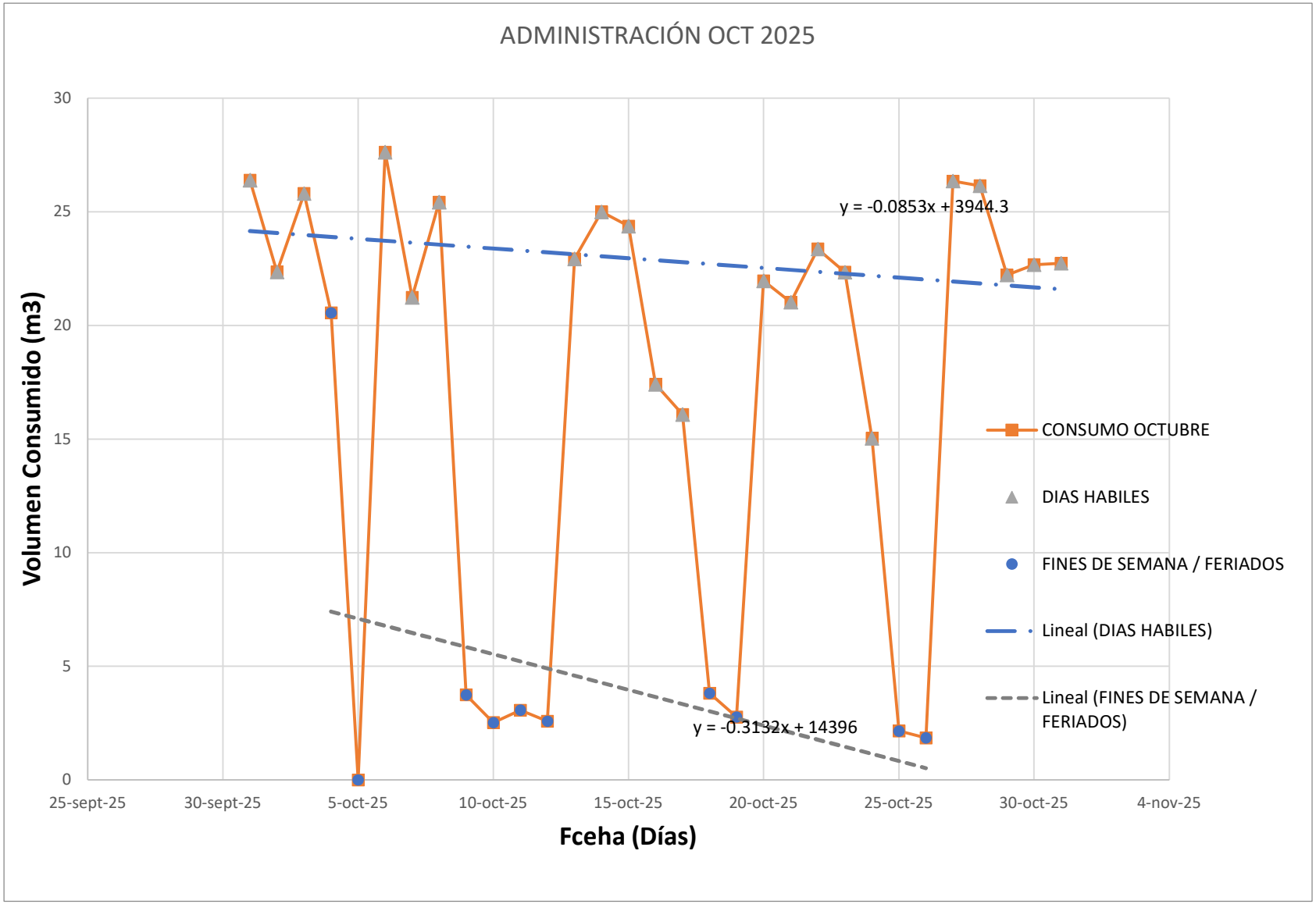

DISEÑO ENERO 2026
CONSUMO ENERO
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = -0.01x + 466.09
y = 0.0409x - 1881.7
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
1
2
3
4
5
6
29-dic-25
3-ene-26
8-ene-26
13-ene-26
18-ene-26
23-ene-26
28-ene-26
2-feb-26

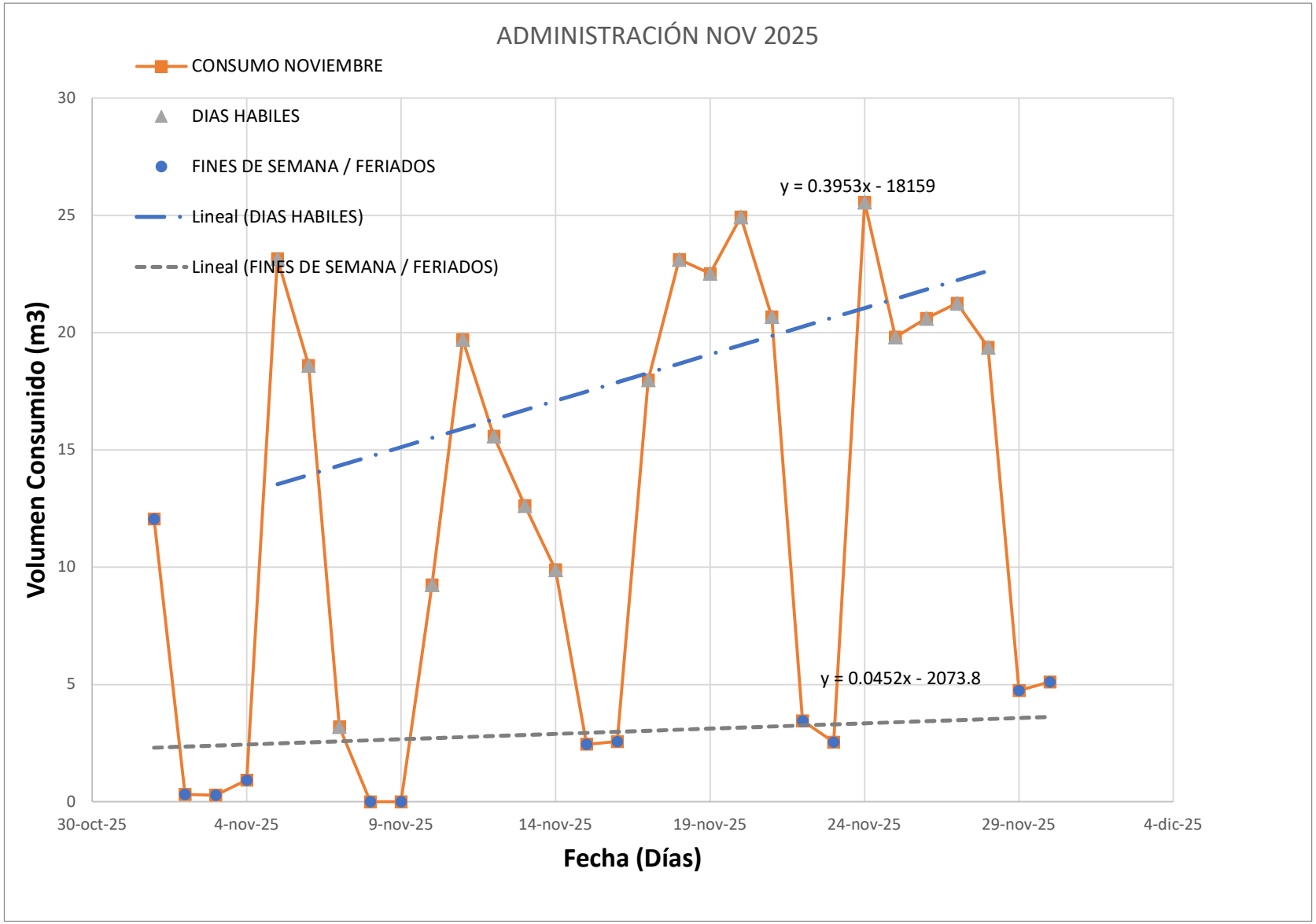

DISEÑO FEB 2026
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
y = 0.0225x - 1029.5
y = 0.0172x - 790.25
CONSUMO FEBREEO
DÍAS HÁBILES
FINES DE SEMANA / FERIADO
Lineal (DÍAS HÁBILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADO)
0
1
2
3
4
5
6
7
28-ene-26
2-feb-26
7-feb-26
12-feb-26
17-feb-26
22-feb-26
27-feb-26
4-mar-26

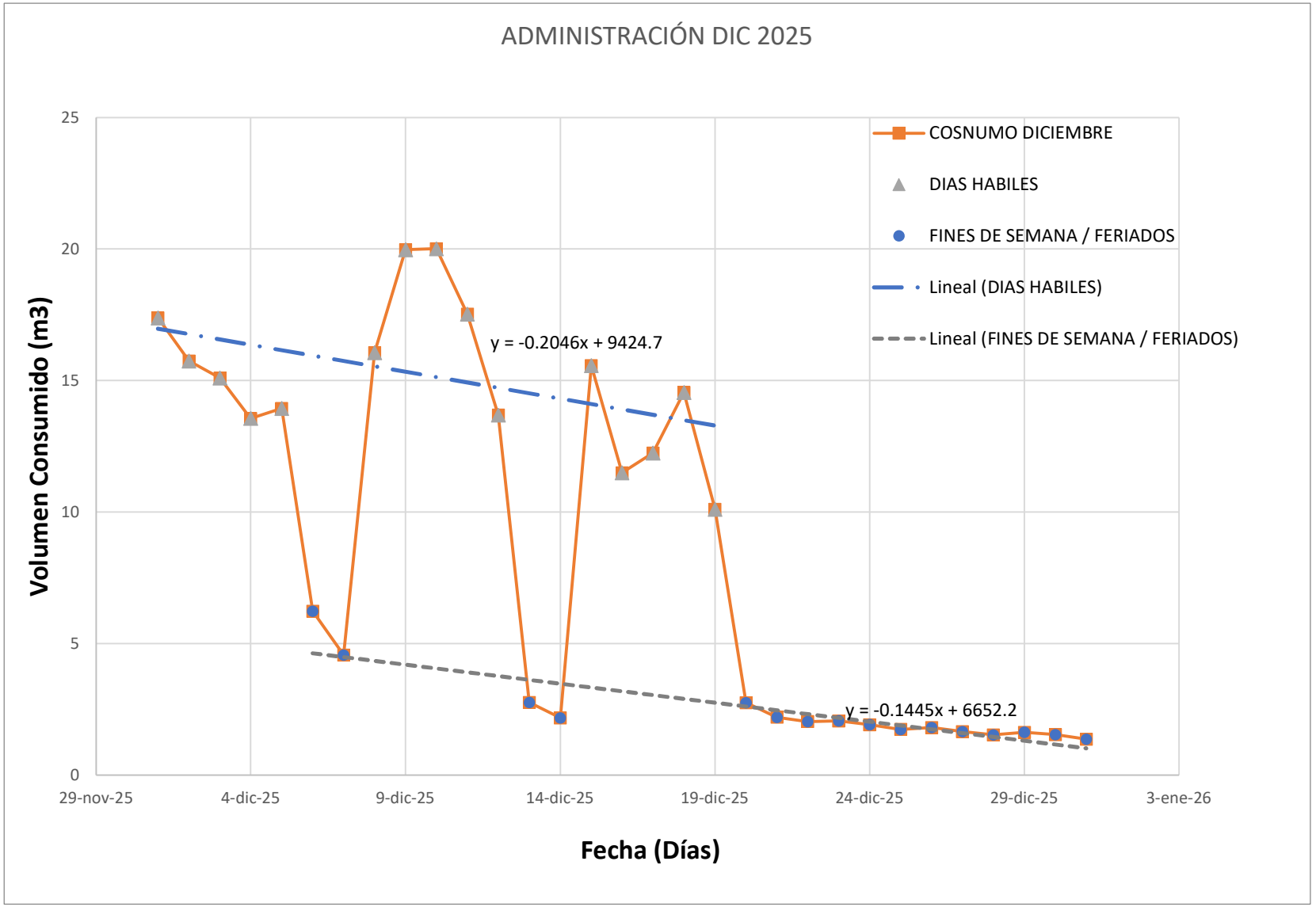

DISEÑO MAR 2026
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
y = 0.0235x - 1076.3
y = -0.0017x + 79.494
CONSUMO MARZO
FINES DE SEMANA / FERIADO
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADO)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
27-feb-26
4-mar-26
9-mar-26
14-mar-26
19-mar-26
24-mar-26
29-mar-26
3-abr-26

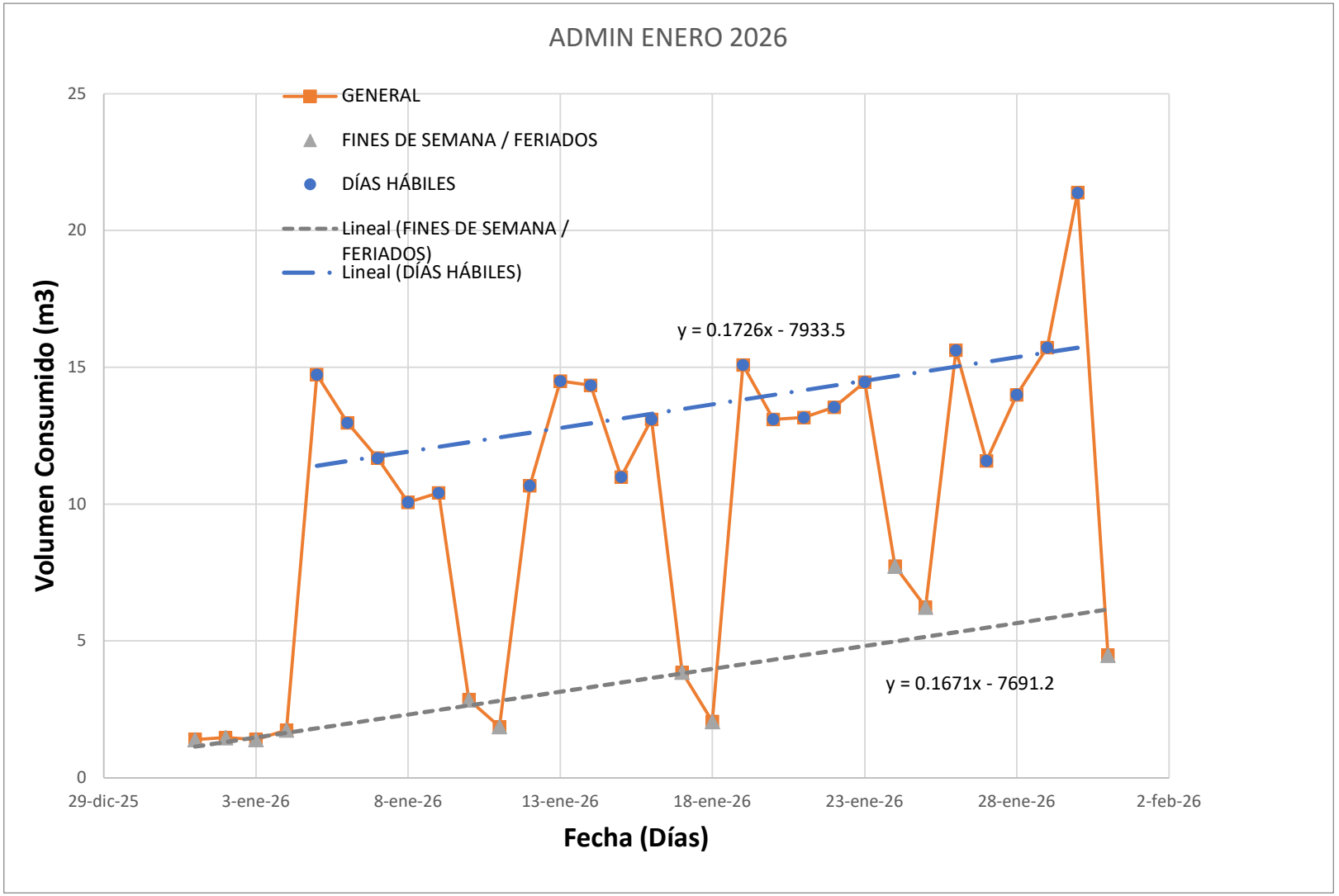
1.2.2 Anexo B.2 – Facultad de Administración

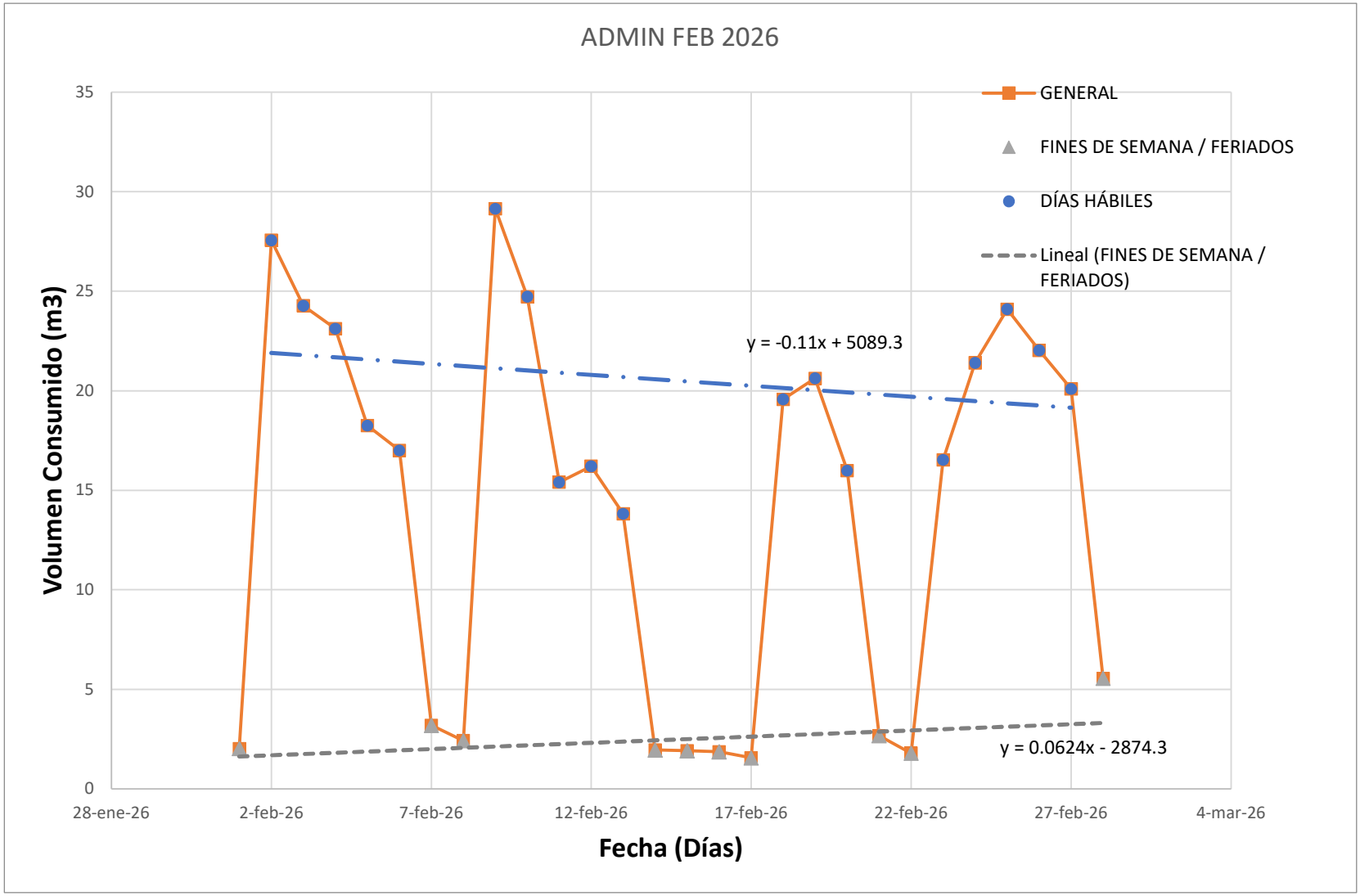

ADMINISTRACIÓN SEP 2025
Volumen Consumido (m3)
35
30
25
20
15
10
5
0
10-sept-25
15-sept-25
20-sept-25
25-sept-25
30-sept-25
5-oct-25
Fecha (Días)
y = 0.7616x - 34953
y = -0.0188x + 866.68
CONSUMO SEPTIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)

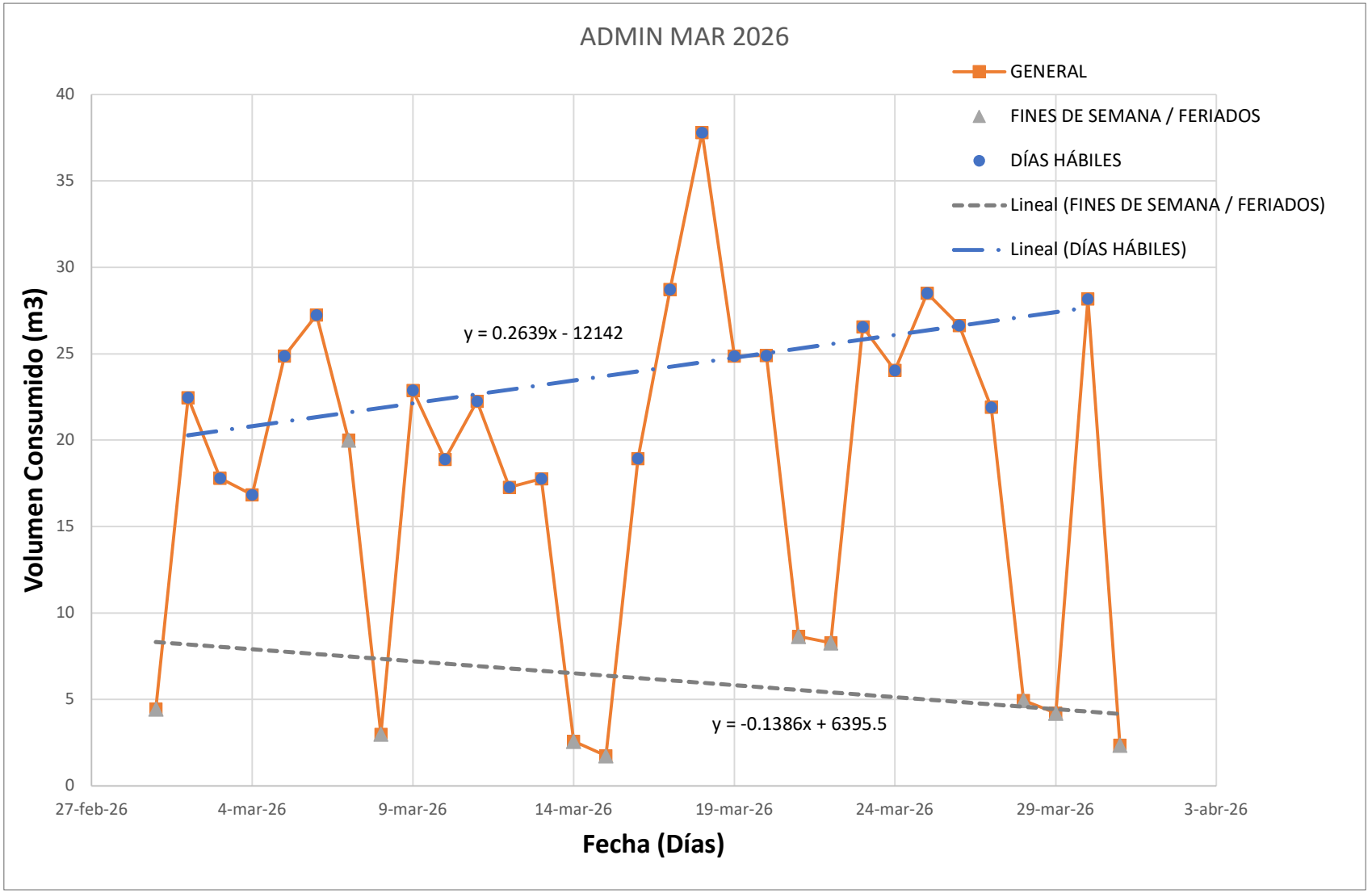

ADMINISTRACIÓN OCT 2025
Volumen Consumido (m3)
Fceha (Días)
30
25
20
15
10
5
0
25-sept-25
30-sept-25
5-oct-25
10-oct-25
15-oct-25
20-oct-25
25-oct-25
30-oct-25
4-nov-25
y = -0.0853x + 3944.3
y = -0.3132x + 14396
CONSUMO OCTUBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)


ADMINISTRACIÓN NOV 2025
CONSUMO NOVIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = 0.3953x - 18159
y = 0.0452x - 2073.8
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
30
25
20
15
10
5
0
30-oct-25
4-nov-25
9-nov-25
14-nov-25
19-nov-25
24-nov-25
29-nov-25
4-dic-25

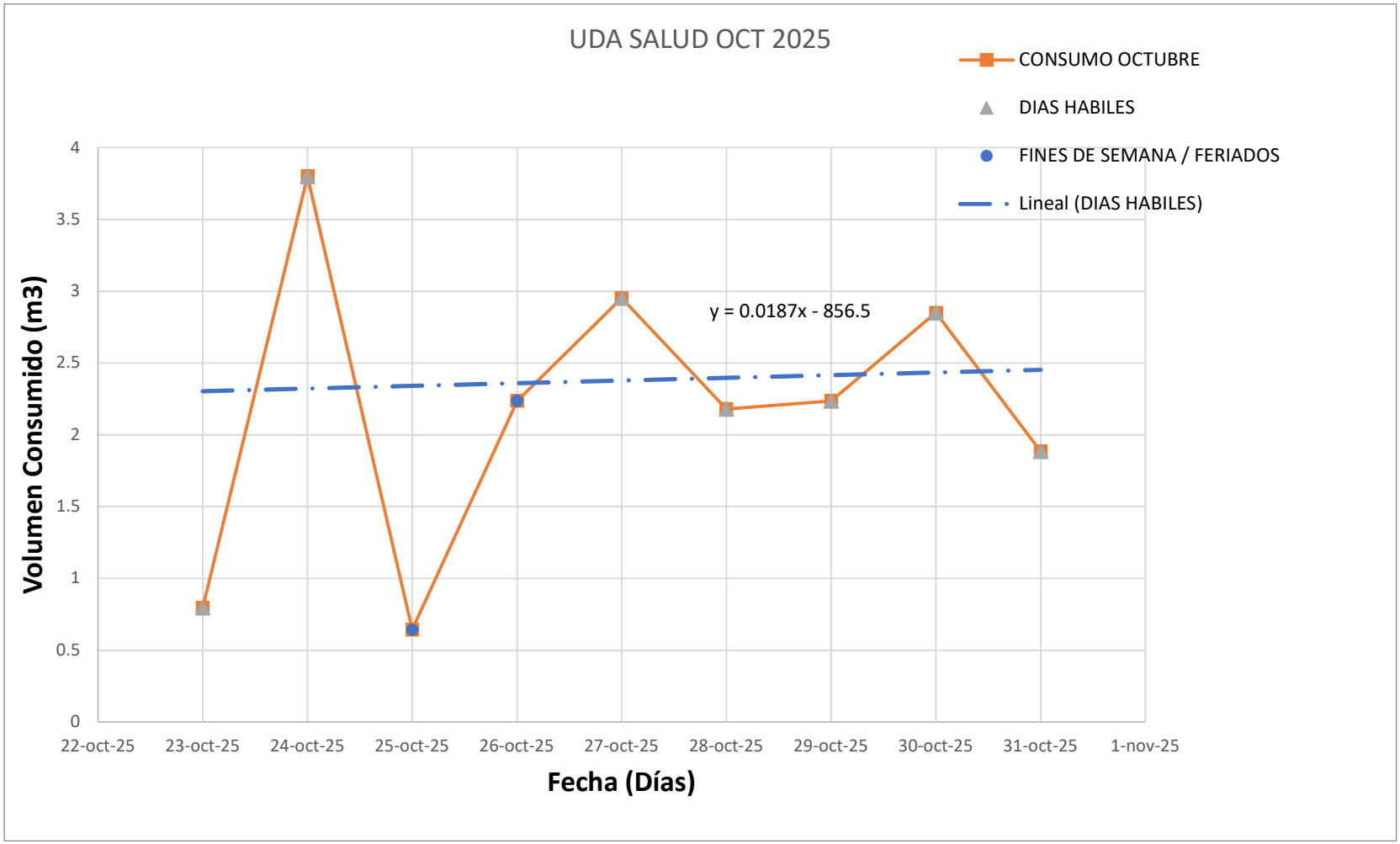

ADMINISTRACIÓN DIC 2025
Volumen Consumido (m3)
25
20
15
10
5
0
29-nov-25
4-dic-25
9-dic-25
14-dic-25
19-dic-25
24-dic-25
29-dic-25
3-ene-26
Fecha (Días)
COSNUMO DICIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = -0.2046x + 9424.7
y = -0.1445x + 6652.2

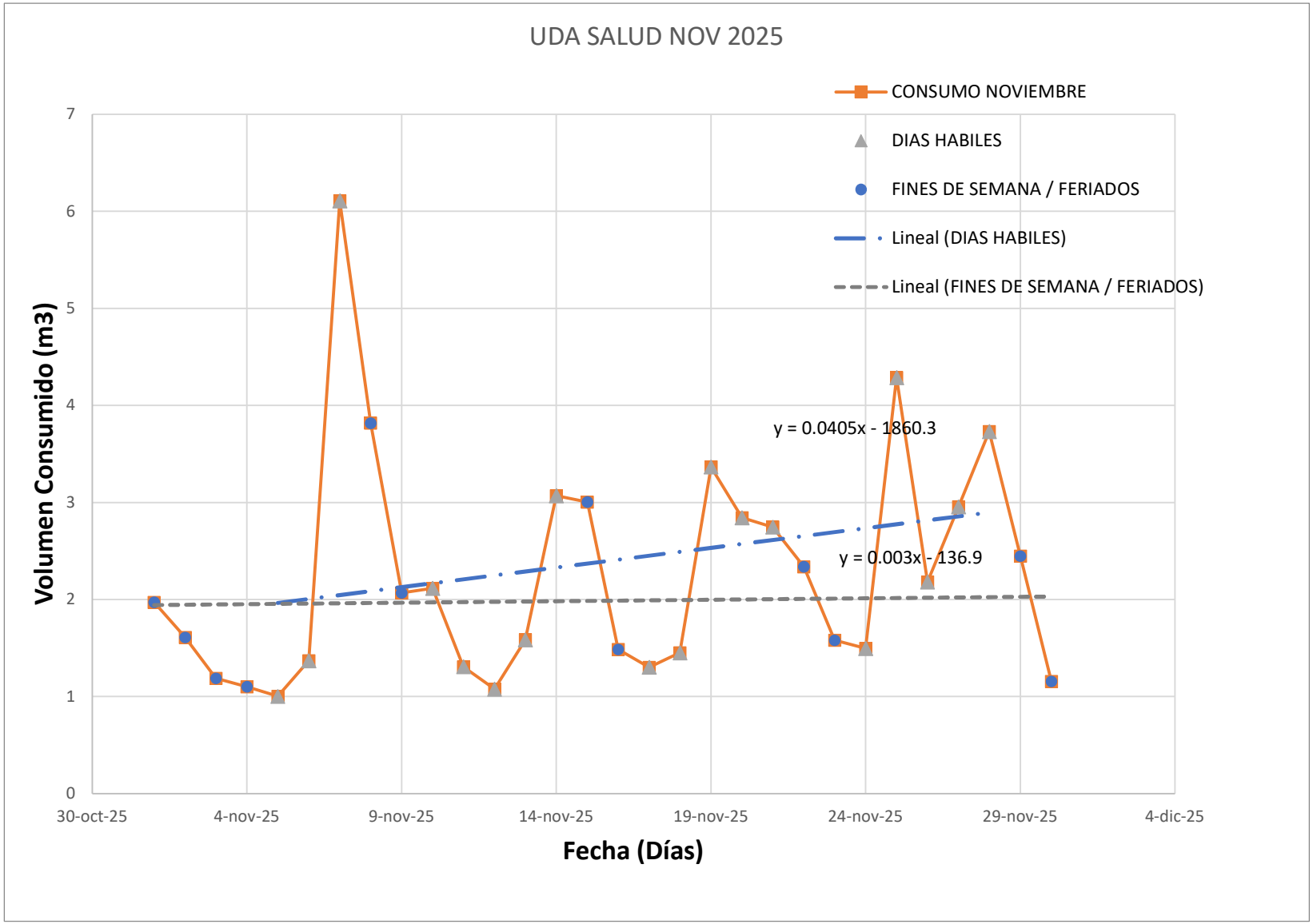

ADMIN ENERO 2026
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.1726x - 7933.5
y = 0.1671x - 7691.2
Volumen Consumido (m3)
0
5
10
15
20
25
29-dic-25
3-ene-26
8-ene-26
13-ene-26
18-ene-26
23-ene-26
28-ene-26
2-feb-26
Fecha (Días)

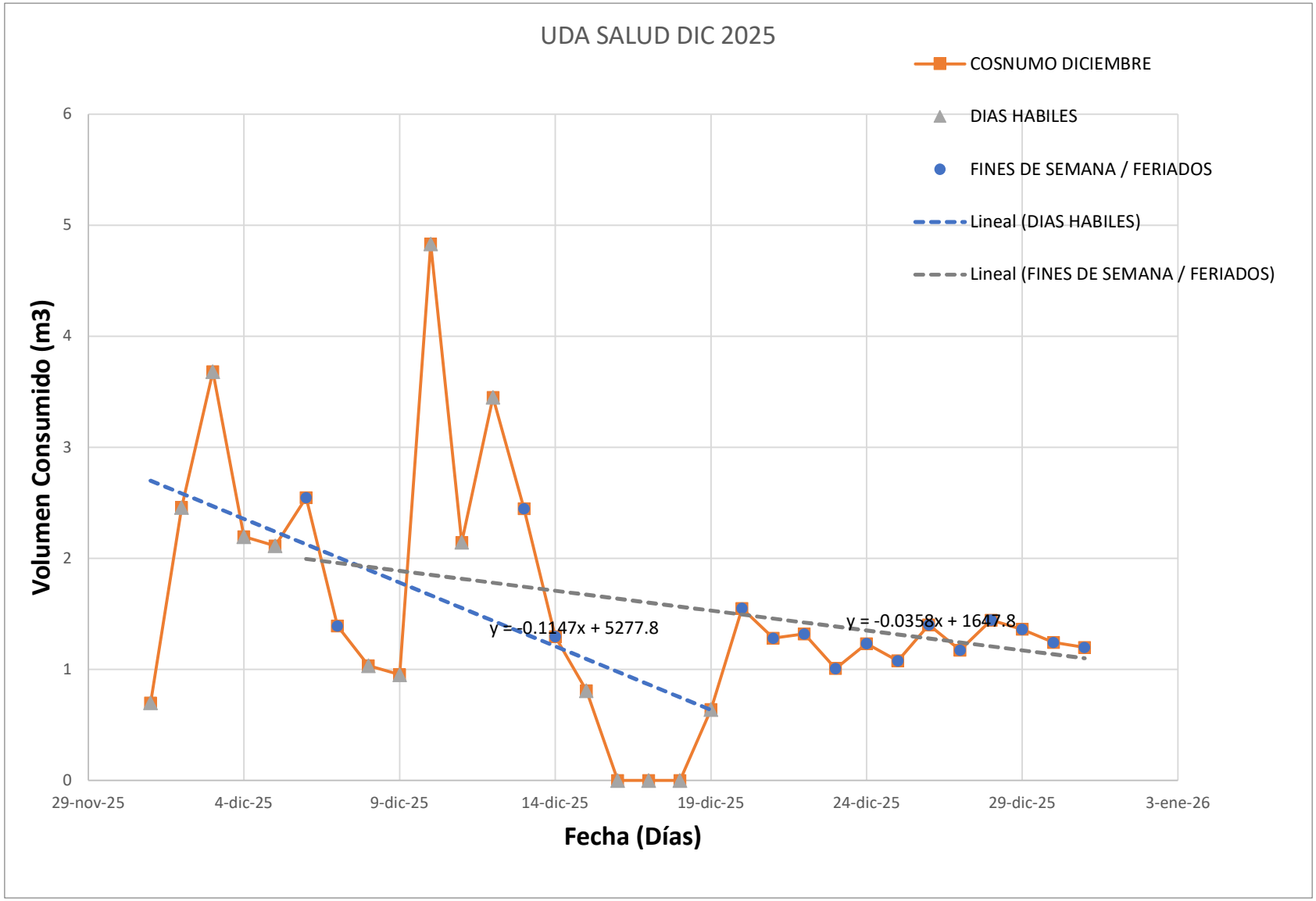

ADMIN FEB 2026
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = -0.11x + 5089.3
y = 0.0624x - 2874.3
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
35
30
25
20
15
10
5
0
28-ene-26
2-feb-26
7-feb-26
12-feb-26
17-feb-26
22-feb-26
27-feb-26
4-mar-26

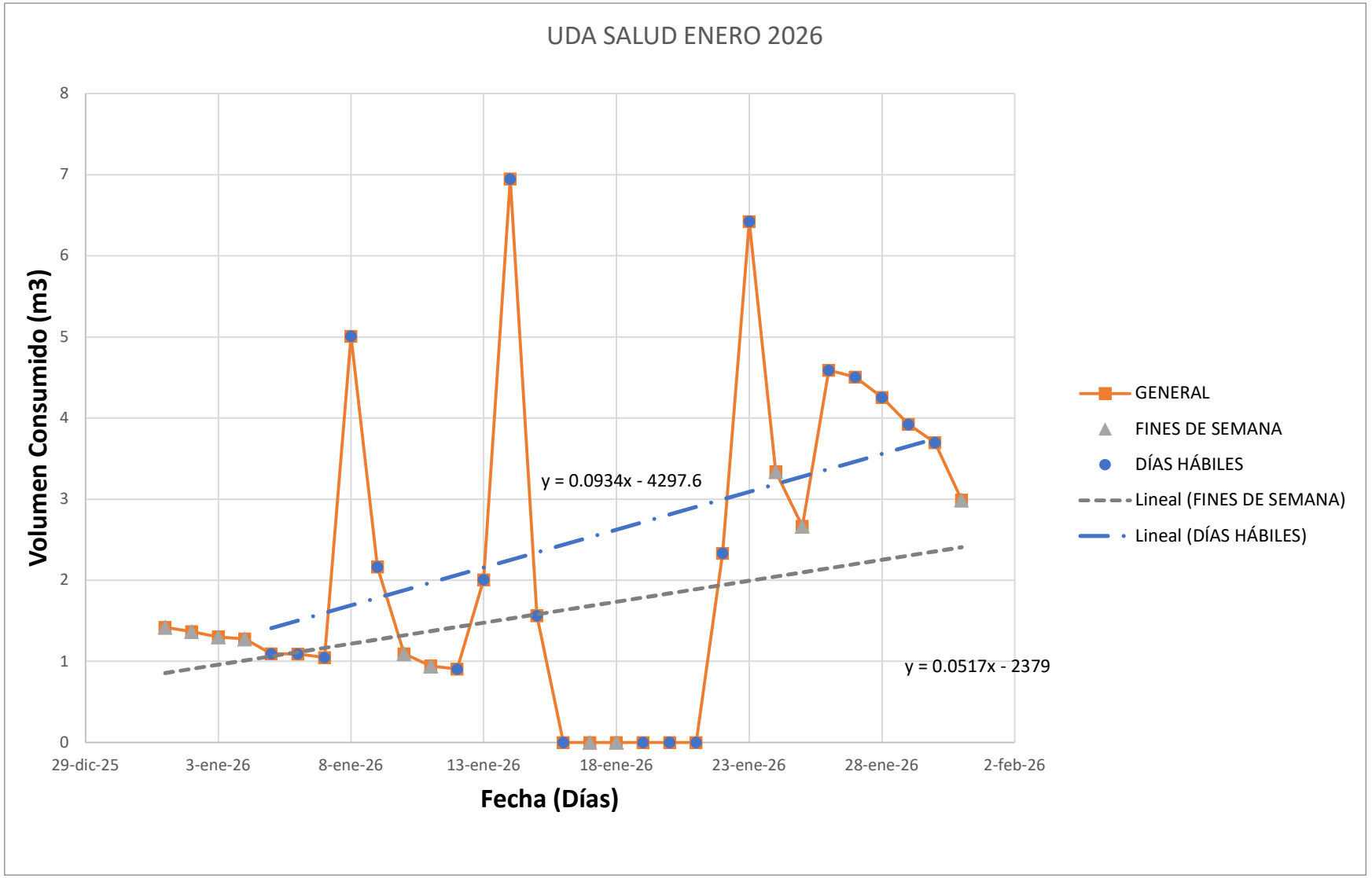

ADMIN MAR 2026
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.2639x - 12142
y = -0.1386x + 6395.5
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
27-feb-26
4-mar-26
9-mar-26
14-mar-26
19-mar-26
24-mar-26
29-mar-26
3-abr-26

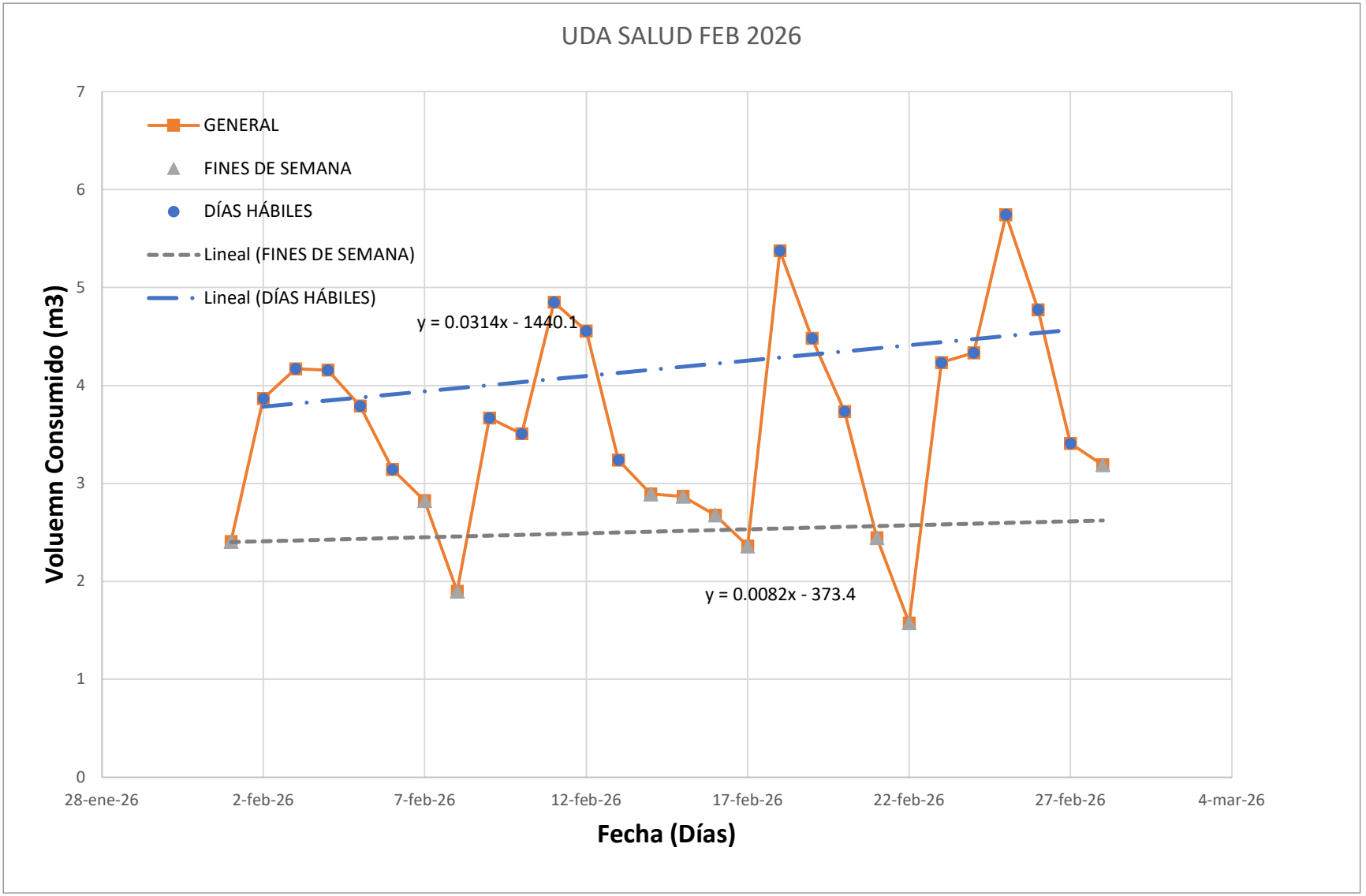
1.2.3 Anexo B.3 – Uda Salud

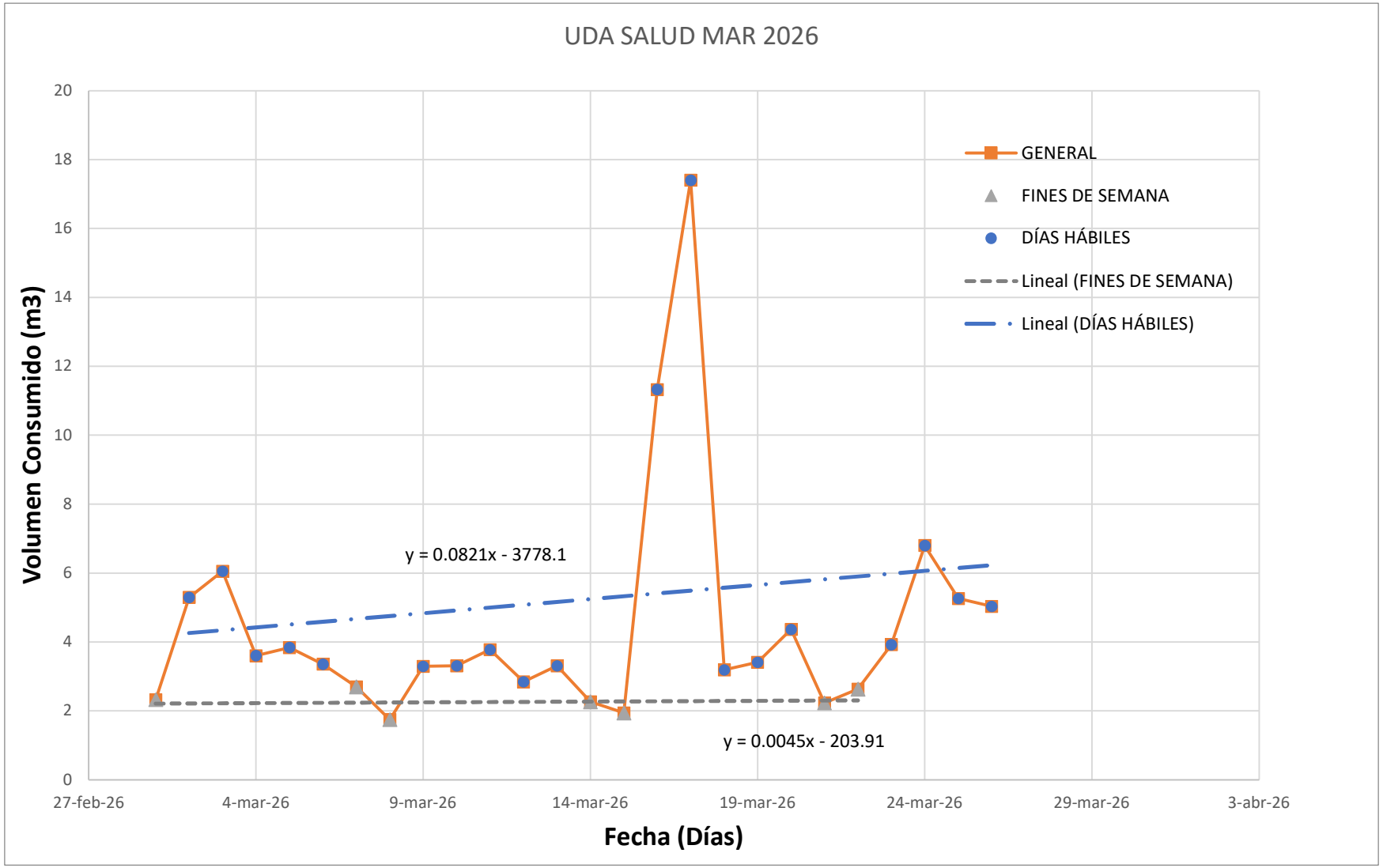



UDA SALUD NOV 2025
CONSUMO NOVIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = 0.0405x - 1860.3
y = 0.003x - 136.9
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
1
2
3
4
5
6
7
30-oct-25
4-nov-25
9-nov-25
14-nov-25
19-nov-25
24-nov-25
29-nov-25
4-dic-25

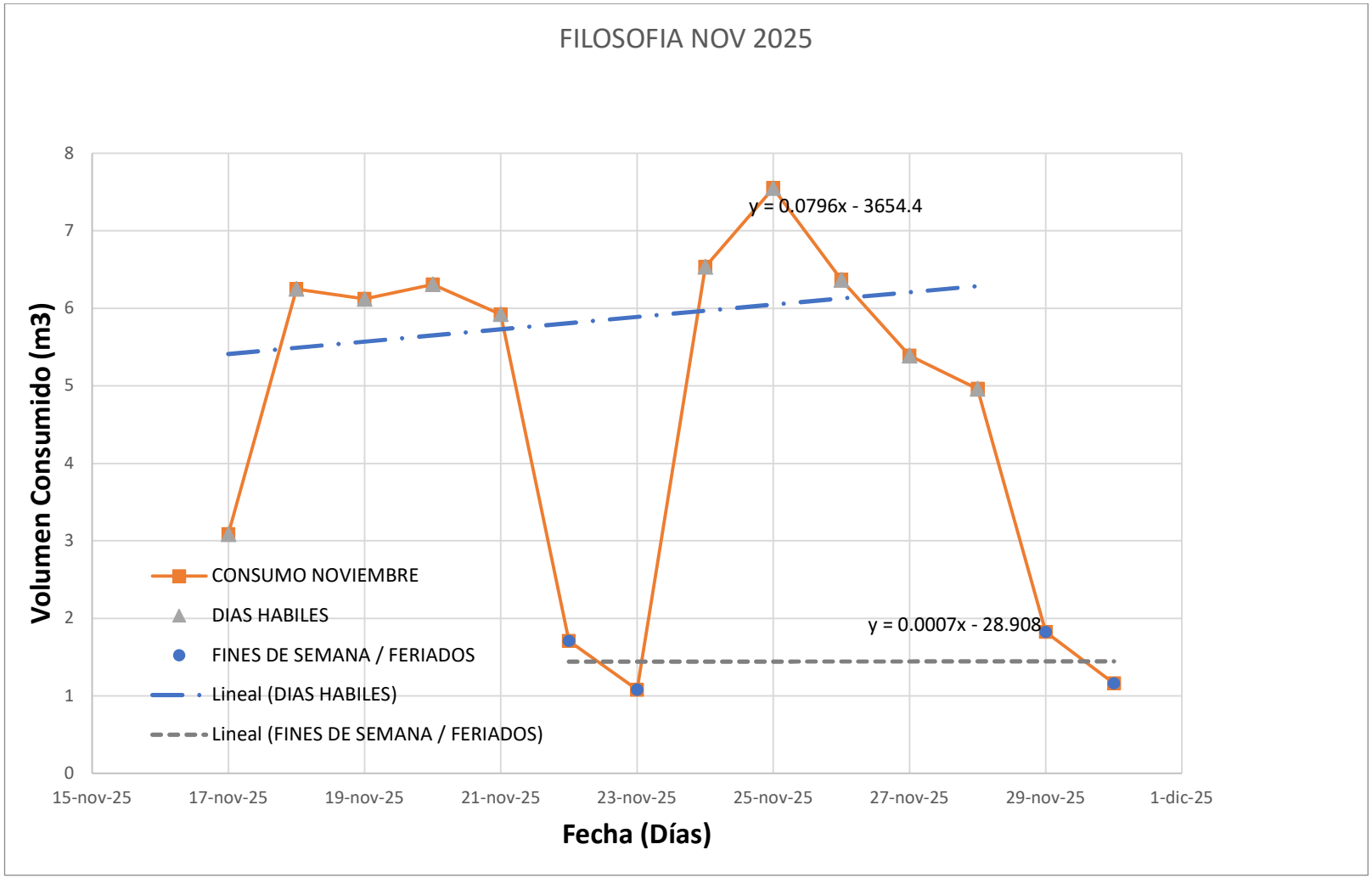

UDA SALUD DIC 2025
COSNUMO DICIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = -0.1147x + 5277.8
y = -0.0358x + 1647.8
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
1
2
3
4
5
6
29-nov-25
4-dic-25
9-dic-25
14-dic-25
19-dic-25
24-dic-25
29-dic-25
3-ene-26

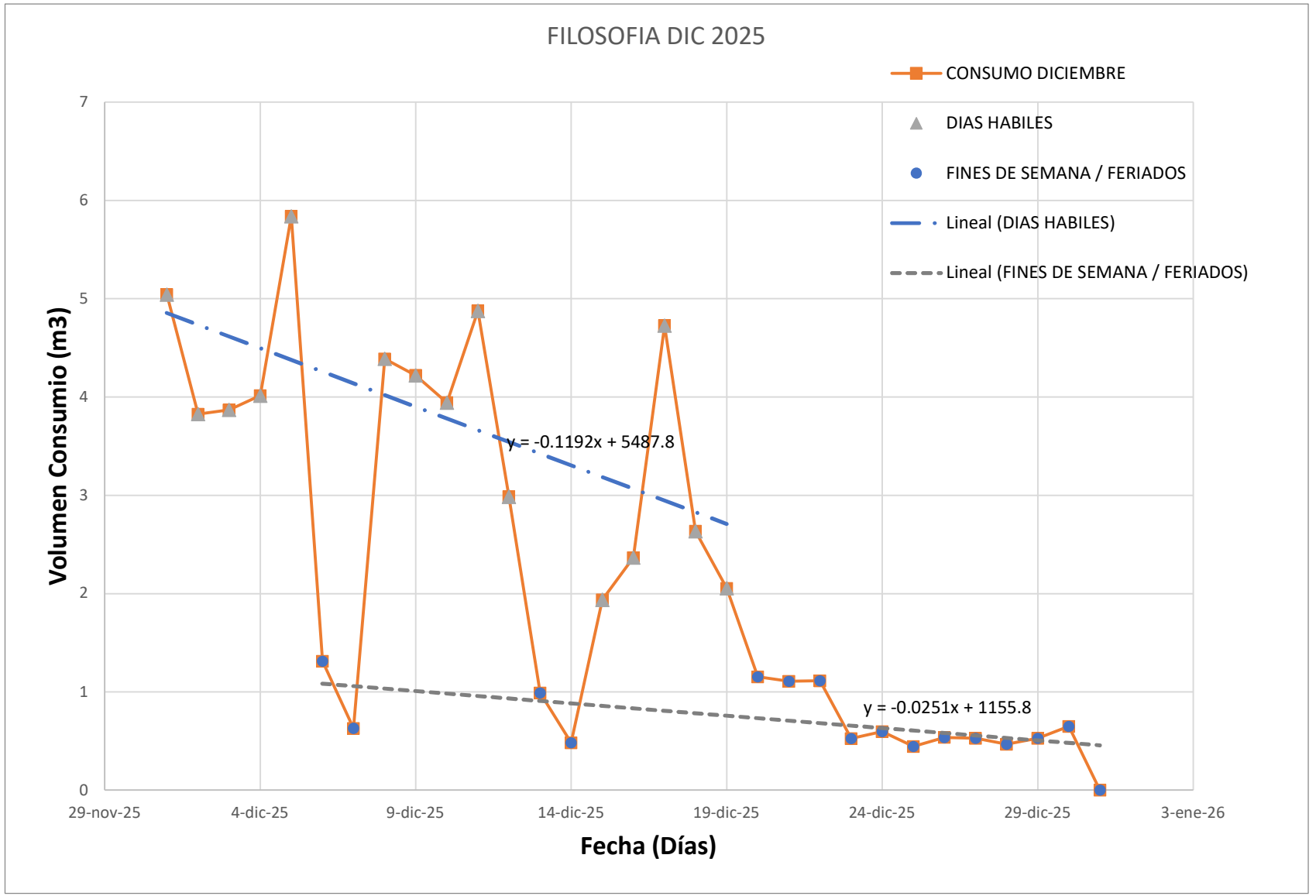

UDA SALUD ENERO 2026
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
29-dic-25
3-ene-26
8-ene-26
13-ene-26
18-ene-26
23-ene-26
28-ene-26
2-feb-26
y = 0.0934x - 4297.6
y = 0.0517x - 2379
GENERAL
FINES DE SEMANA
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA)
Lineal (DÍAS HÁBILES)

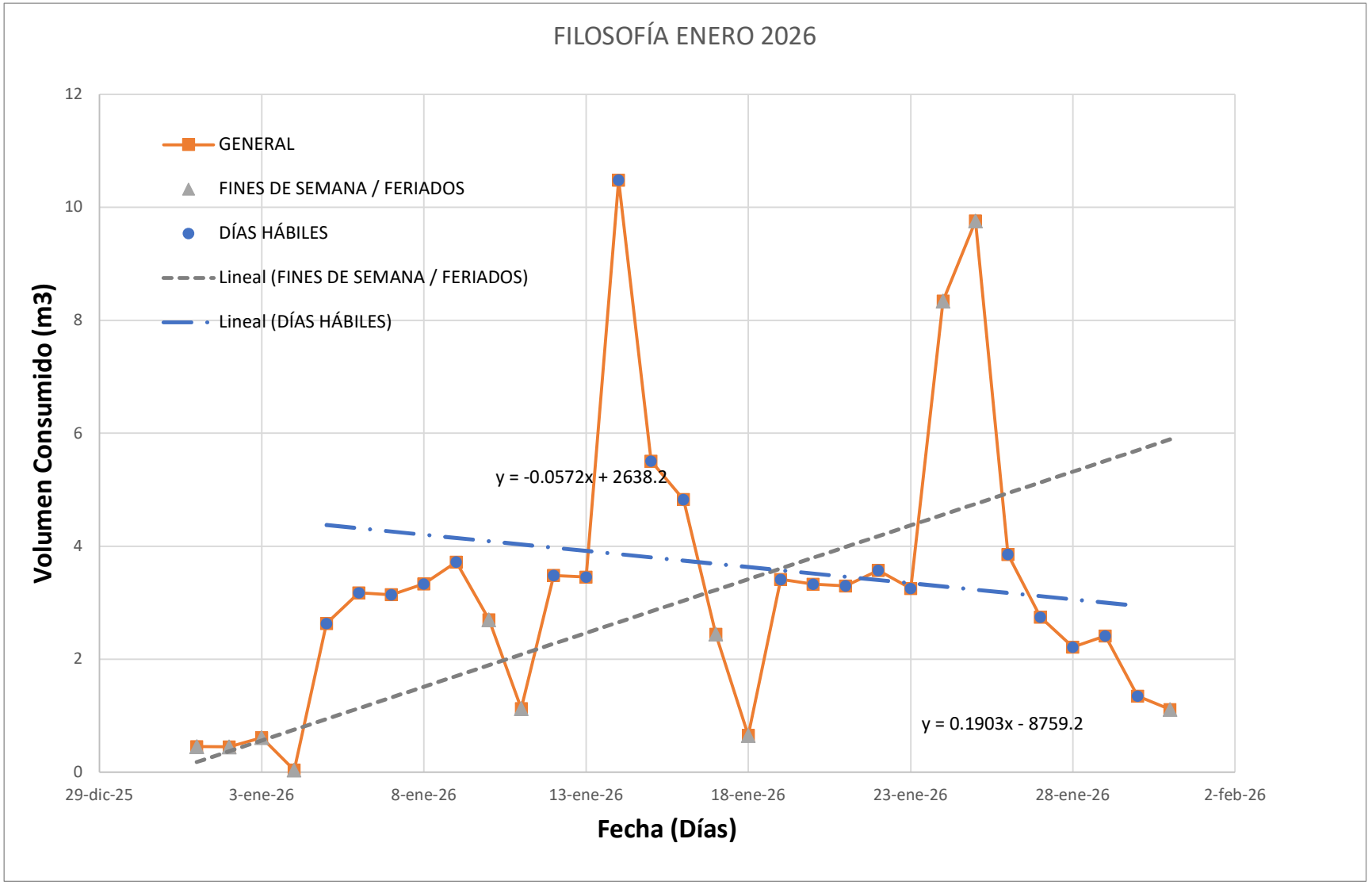

UDA SALUD FEB 2026
GENERAL
FINES DE SEMANA
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.0314x - 1440.1
y = 0.0082x - 373.4
Voluemn Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
1
2
3
4
5
6
7
28-ene-26
2-feb-26
7-feb-26
12-feb-26
17-feb-26
22-feb-26
27-feb-26
4-mar-26

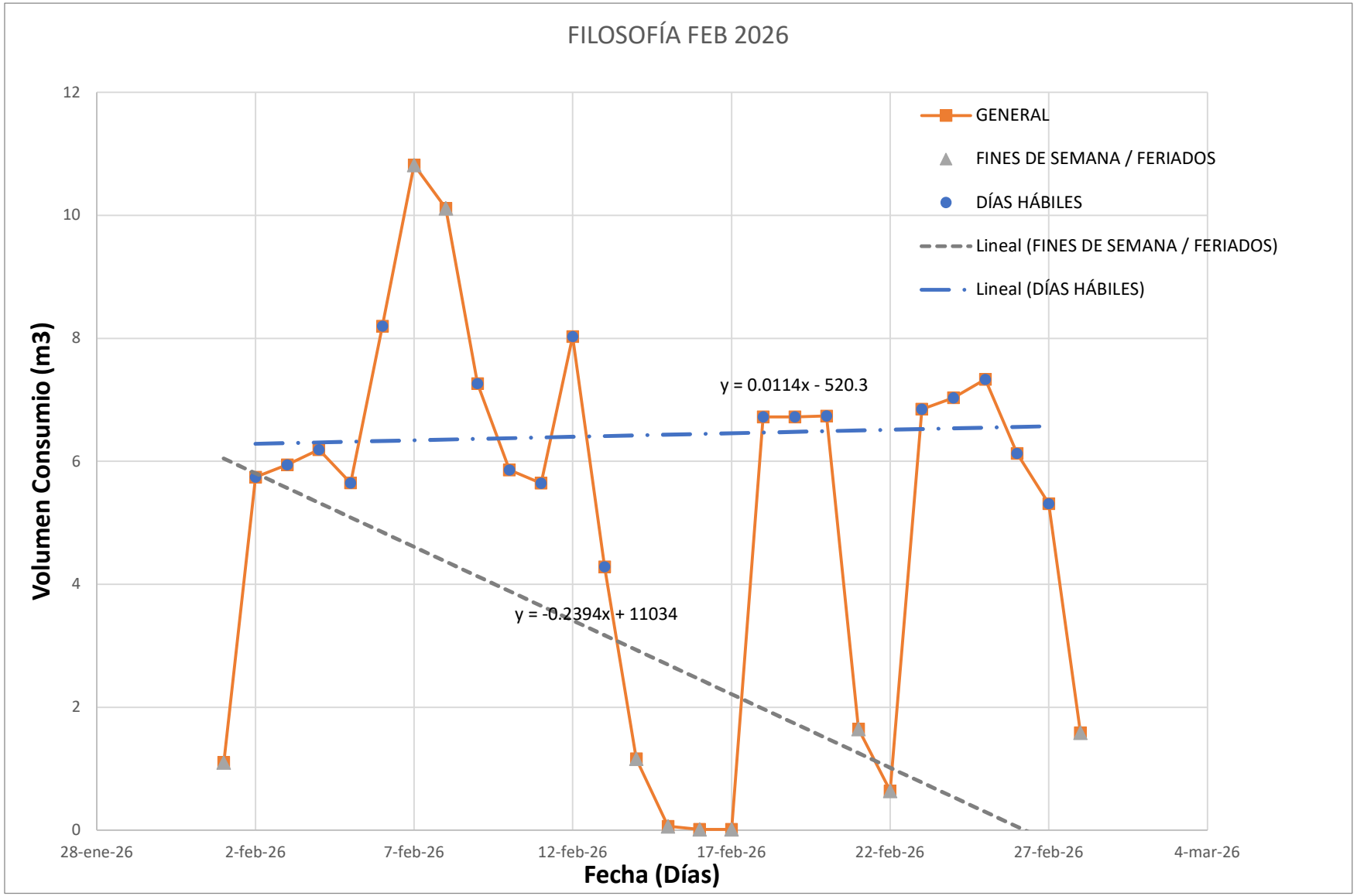

UDA SALUD MAR 2026
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
GENERAL
FINES DE SEMANA
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.0821x - 3778.1
y = 0.0045x - 203.91
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
27-feb-26
4-mar-26
9-mar-26
14-mar-26
19-mar-26
24-mar-26
29-mar-26
3-abr-26

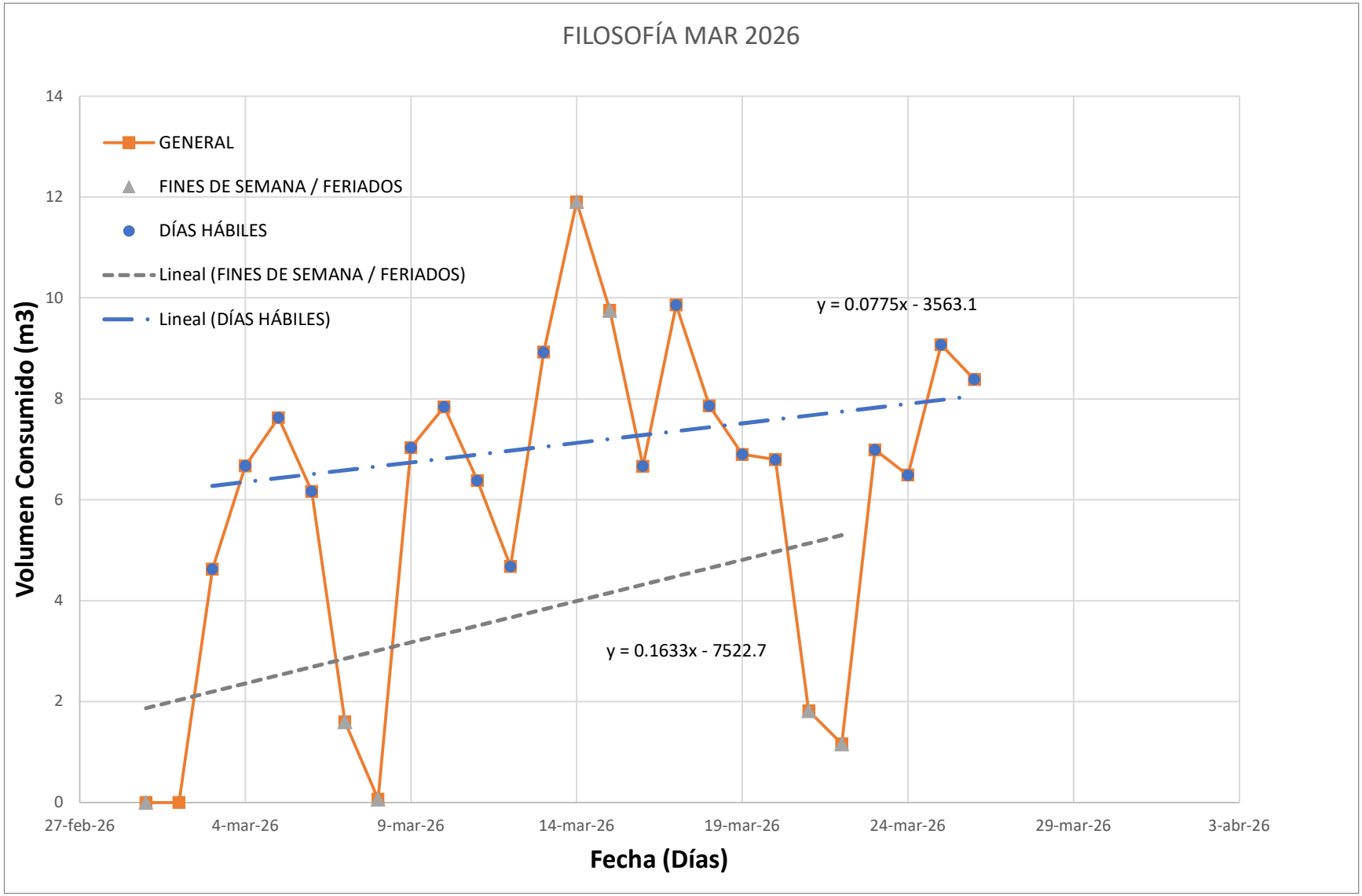
1.2.4 Anexo B.4 – Facultad de Filosofía



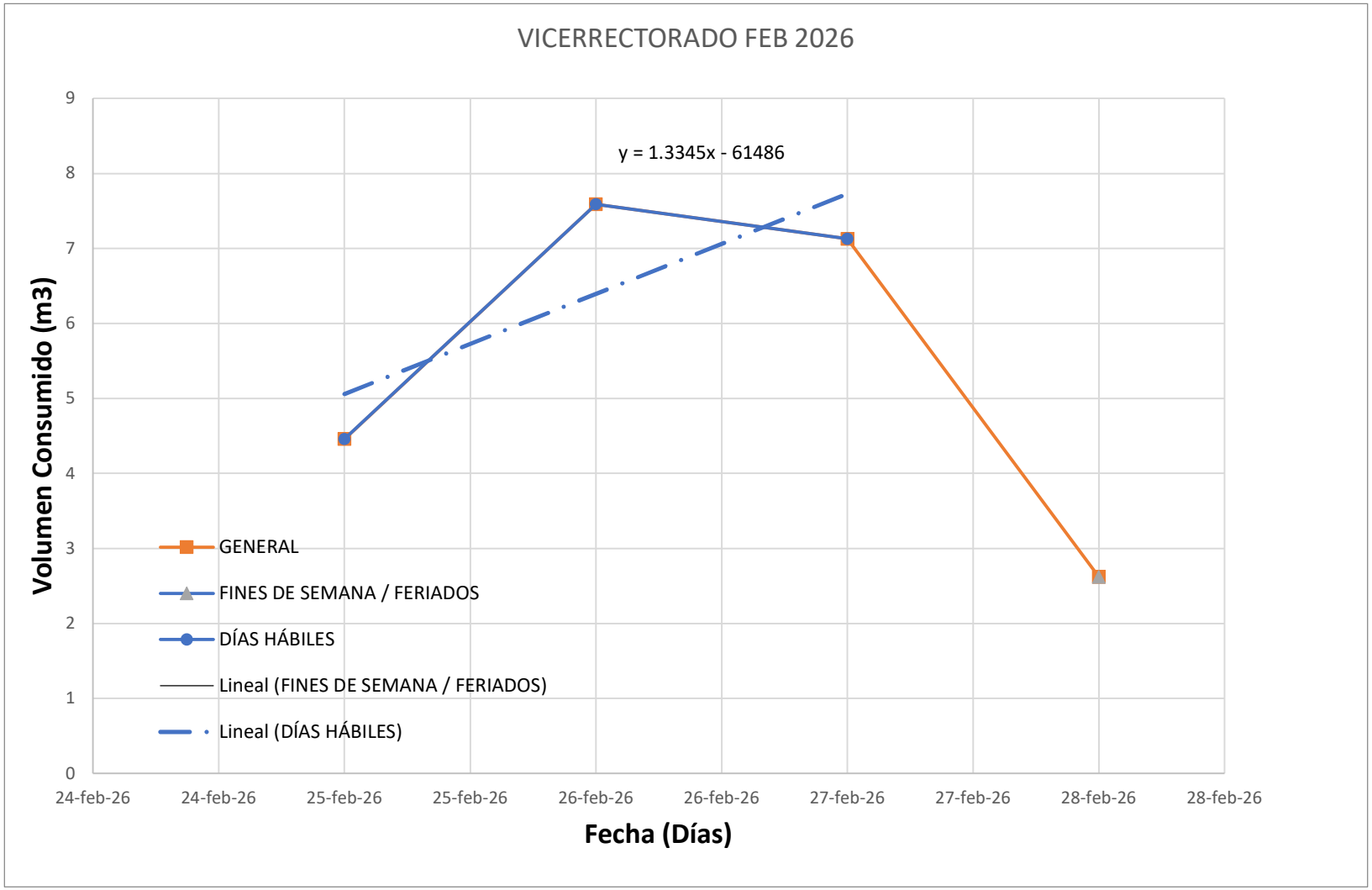

FILOSOFIA DIC 2025
CONSUMO DICIEMBRE
DIAS HABILES
FINES DE SEMANA / FERIADOS
Lineal (DIAS HABILES)
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
y = -0.1192x + 5487.8
y = -0.0251x + 1155.8
Volumen Consumio (m3)
Fecha (Días)
0
1
2
3
4
5
6
7
29-nov-25
4-dic-25
9-dic-25
14-dic-25
19-dic-25
24-dic-25
29-dic-25
3-ene-26

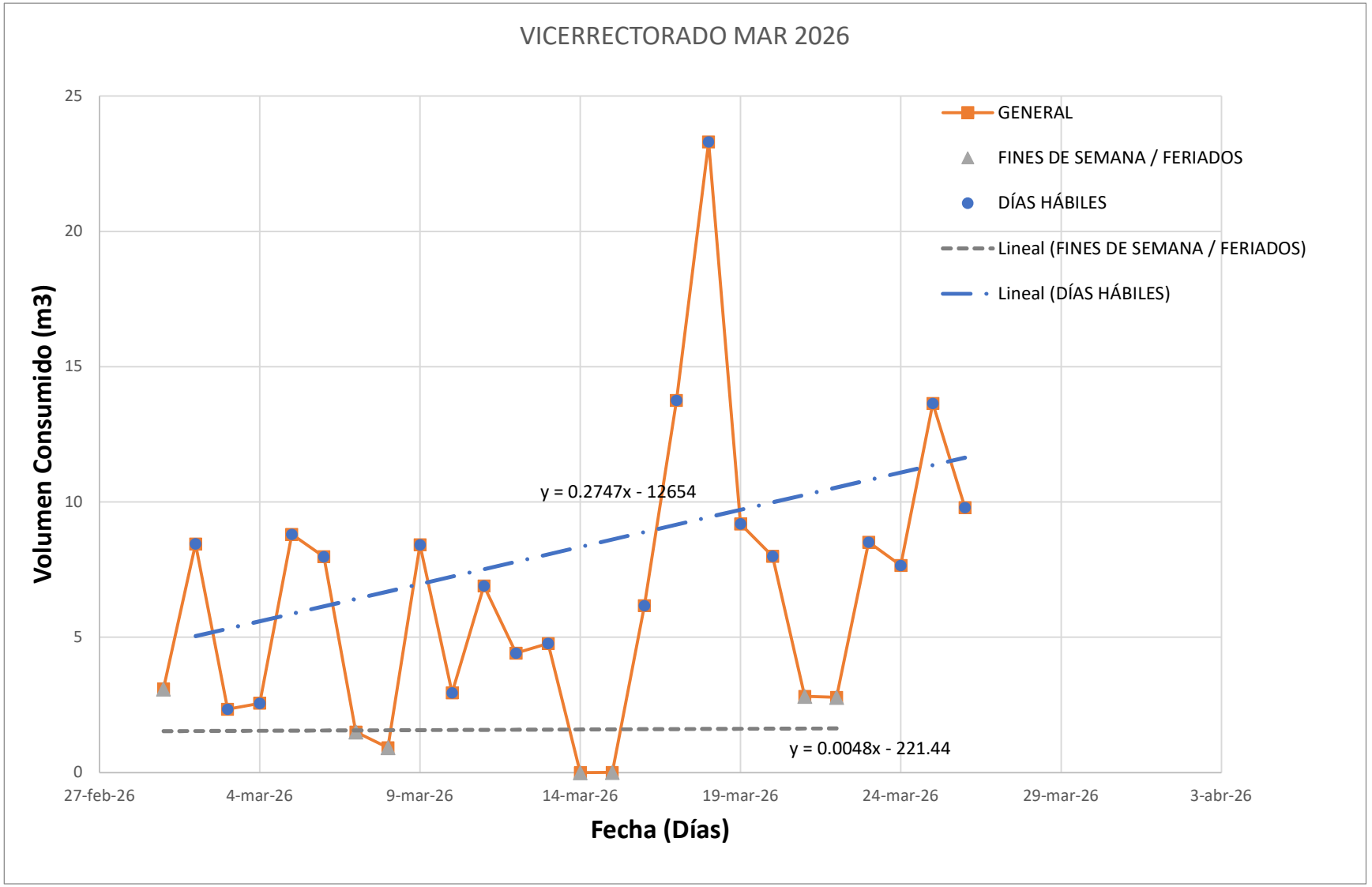

FILOSOFÍA ENERO 2026
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = -0.0572x + 2638.2
y = 0.1903x - 8759.2
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
2
4
6
8
10
12
29-dic-25
3-ene-26
8-ene-26
13-ene-26
18-ene-26
23-ene-26
28-ene-26
2-feb-26


FILOSOFÍA FEB 2026
Volumen Consumio (m3)
Fecha (Días)
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.0114x - 520.3
y = -0.2394x + 11034
0
2
4
6
8
10
12
28-ene-26
2-feb-26
7-feb-26
12-feb-26
17-feb-26
22-feb-26
27-feb-26
4-mar-26

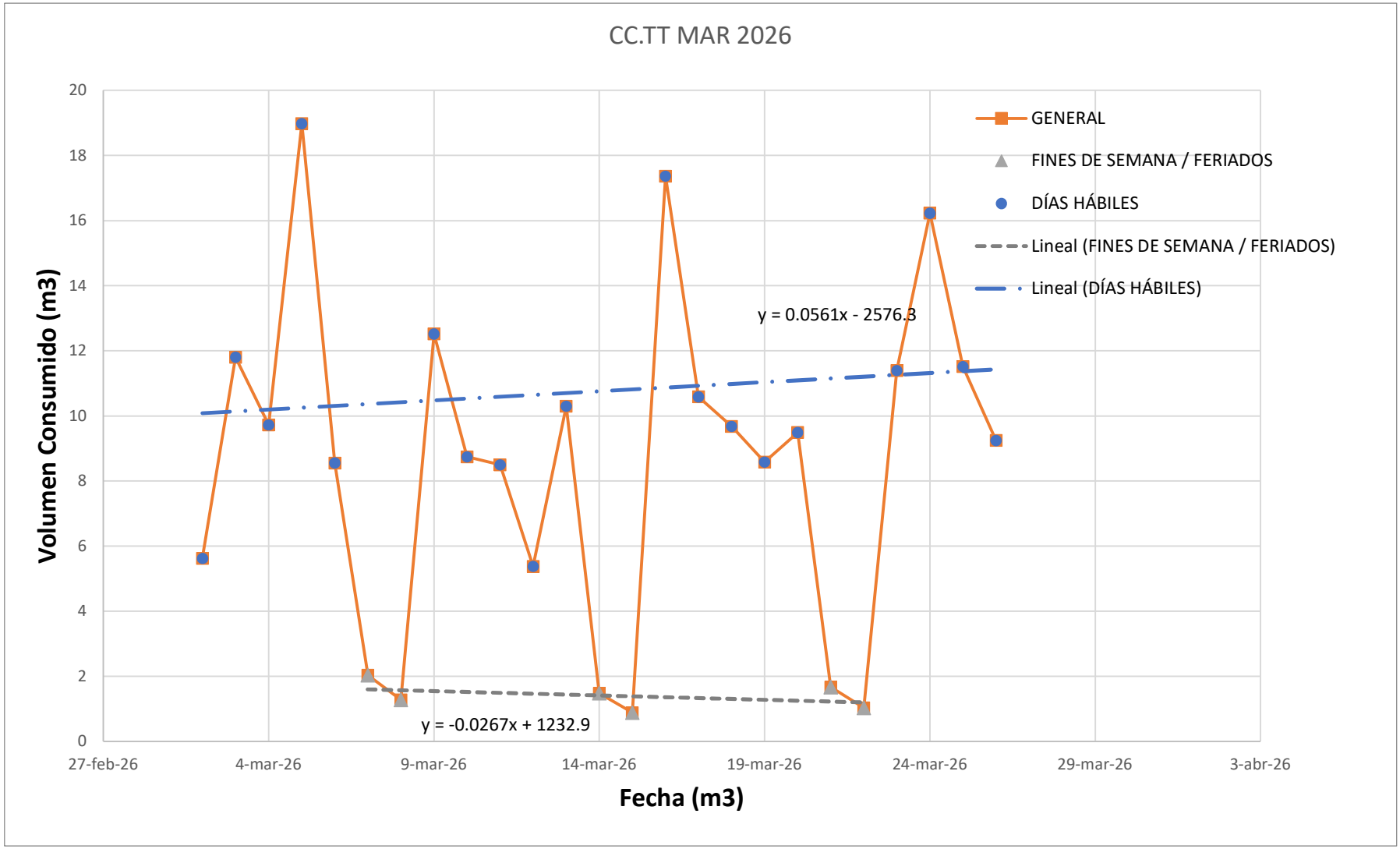

FILOSOFÍA MAR 2026
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.0775x - 3563.1
y = 0.1633x - 7522.7
Volumen Consumido (m3)
Fecha (Días)
0
2
4
6
8
10
12
14
27-feb-26
4-mar-26
9-mar-26
14-mar-26
19-mar-26
24-mar-26
29-mar-26
3-abr-26

1.2.5 Anexo B.5 – Vicerrectorado




VICERRECTORADO MAR 2026
Volumen Consumido (m3)
25
20
15
10
5
0
27-feb-26
4-mar-26
9-mar-26
14-mar-26
19-mar-26
24-mar-26
29-mar-26
3-abr-26
Fecha (Días)
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.2747x - 12654
y = 0.0048x - 221.44

1.2.6 Anexo B.6 – Facultad CC.TT


CC.TT MAR 2026
Volumen Consumido (m3)
Fecha (m3)
GENERAL
FINES DE SEMANA / FERIADOS
DÍAS HÁBILES
Lineal (FINES DE SEMANA / FERIADOS)
Lineal (DÍAS HÁBILES)
y = 0.0561x - 2576.3
y = -0.0267x + 1232.9
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
27-feb-26
4-mar-26
9-mar-26
14-mar-26
19-mar-26
24-mar-26
29-mar-26
3-abr-26