

Análisis de los hábitos de uso del agua potable y su influencia sobre la producción y composición de las aguas grises claras generadas dentro de una vivienda residencial de

Bucaramanga, caso de estudio: Barrio La Victoria

Lizeth Camila Fernández Acevedo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Civil

Director

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

PhD. Ingeniería, área de énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Codirector

Daniela Cristina Rey Romero

MSc. Planificación y Desarrollo de Recursos Hídricos

Jessica Patricia Burgos Arias

Ingeniera Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

A Dios, quien es y será el pilar de mi vida. A mis padres y abuela, Erwin, Paola y Gladys, quienes me han brindado todo su amor y apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida. A Daniel Méndez, quien me ha ayudado, amado y animado diariamente. A mis hermanos, familia, amigos y profesores, quienes han sido parte fundamental en este proceso de crecimiento y aprendizaje. A todos ustedes, gracias.

### **Agradecimientos**

A mis directores Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, Daniela Cristina Rey Romero y Jessica Patricia Burgos por su orientación, conocimientos y paciencia para lograr esta investigación.

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Civil por brindarme el espacio y oportunidad para adquirir conocimientos de calidad.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Marco teórico .....	14
2.1 Aguas grises claras.....	14
2.2 Factores que afectan la producción y composición de las AGC.....	14
3. Metodología .....	15
3.1 Área de estudio .....	15
3.2 Fase I: Caracterización de los hábitos del uso del agua en un área residencial de Bucaramanga .....	16
3.2.1 Aplicación de encuesta .....	16
3.2.2 Tabulación de datos .....	18
3.3 Fase II: Análisis de la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en la ciudad de Bucaramanga. ....	19
3.3.1 Recolección de datos de producción de AGC.....	19
3.3.2 Análisis de calidad de las AGC .....	20
3.4 Fase III: Análisis de datos de producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en la ciudad de Bucaramanga. ....	21
4. Resultados y discusión.....	22
4.1 Caracterización de los hábitos del uso del agua en el Barrio La Victoria. ....	22

4.2 Estimación de la producción y calidad de las AGC en una vivienda residencial del barrio La Victoria. ....	25
4.2.1 Producción de las AGC.....	25
4.2.2 Calidad de las AGC .....	34
4.3 Relación entre los hábitos de uso del agua potable y la producción y calidad de las AGC generadas en la vivienda residencial de estudio. ....	36
4.3.1 Relación de los hábitos del uso del agua potable con la producción de las AGC .....	36
4.3.2 Relación de los hábitos del uso del agua potable con la calidad de las AGC.....	40
5. Conclusiones.....	47
6. Recomendaciones .....	48
Referencias.....	48
Apéndices.....	53

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Métodos y laboratorios para el análisis de los parámetros fisicoquímicos elegidos .....	21
Tabla 2. Comparación de consumo diario per cápita promedio de agua potable .....	28
Tabla 3. Comparación de producción diaria de AGC.....	30
Tabla 4. Comparación de producción de AGC en duchas y lavamanos con los resultados mínimos y máximos de la literatura.....	32
Tabla 5. Comparación del porcentaje de aporte de las AGC respecto a las ARD con lo mínimo y máximo registrado en la literatura .....	33
Tabla 6. Valores de los parámetros en la vivienda de estudio y lo registrado en la literatura.....	35
Tabla 7. Consumo mensual per cápita promedio de acuerdo con la frecuencia con que realizan actividades de aseo en ducha y lavamanos (promedio $\pm$ desviación estándar) .....	37
Tabla 8. Porcentaje de ingredientes de origen orgánico de los productos de higiene personal ....	44
Tabla 9. Porcentaje de ingredientes de origen orgánico de los productos de higiene personal ....	54
Tabla 10. Concentraciones para la solución patrón .....	58

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	16
Figura 2. Porcentaje de participación en la encuesta según la edad .....	18
Figura 3. Porcentaje de personas que permanecen o no en casa las 24 horas del día.....	22
Figura 4. Frecuencia con que realizan actividades de limpieza en duchas y lavamanos.....	22
Figura 5. Frecuencia con que las personas se bañan.....	23
Figura 6. Frecuencia con que las personas se cepillan los dientes.....	24
Figura 7. Frecuencia con que las personas se lavan las manos.....	24
Figura 8. Frecuencia con que las personas descargan el inodoro .....	25
Figura 9. Frecuencia con que las personas se afeitan o depilan.....	25
Figura 10. Consumo de agua potable per cápita [L/hab/día] en las encuestas .....	26
Figura 11. Consumo de agua potable per cápita [L/hab/día] en la vivienda de estudio .....	27
Figura 12. Produccion de AGC [L/día].....	29
Figura 13. Consumo diario per cápita de agua potable en duchas.....	31
Figura 14. Consumo diario per cápita de agua potable en lavamanos.....	31
Figura 15. Porcentaje promedio de aporte de actividades respecto al consumo de agua potable. 33	
Figura 16. Aporte promedio por días de actividades respecto al consumo de agua potable .....	34
Figura 17. Consumo diario per cápita de agua potable según la permanencia en el hogar .....	36
Figura 18. Porcentaje de uso por los usuarios de los productos para la higiene personal .....	40
Figura 19. Porcentaje de estudio de parámetros fisicoquímicos.....	56
Figura 20. Curva de DQO.....	59

**Lista de Apéndices**

	<b>pág.</b>
Apéndice A. Revisión bibliográfica.....	54
Apéndice B. Elección de parámetros fisicoquímicos. ....	55
Apéndice C. Limpieza de vidriería de laboratorio.....	56
Apéndice D. Análisis de DQO.....	56
Apéndice E. Análisis de turbidez.....	59
Apéndice F. Análisis de pH .....	60



## Resumen

**Título:** Análisis de los hábitos de uso del agua potable y su influencia sobre la producción y composición de las aguas grises claras generadas dentro de una vivienda residencial de Bucaramanga, caso de estudio: Barrio La Victoria\*

**Autor:** Lizeth Camila Fernández Acevedo\*\*

**Palabras Clave:** aguas grises claras, parámetros fisicoquímicos, hábitos del uso del agua.

**Descripción:** Con el fin de preservar el recurso hídrico, han surgido alternativas como la reutilización de aguas grises claras (AGC), sin embargo, a pesar de tener múltiples estudios sobre el tratamiento que requieren las AGC para poder ser reutilizadas, existe poca información sobre los factores que afectan su calidad y producción. Con el propósito de contribuir a reducir este vacío de información, esta investigación estudió los hábitos del uso del agua potable de la población del barrio La Victoria en la ciudad de Bucaramanga (Colombia) por medio de encuestas presenciales a 94 viviendas residenciales y analizó la producción y calidad de las AGC de una vivienda de dicho barrio por medio de jornadas de aforos y muestreos. Para determinar la calidad de las AGC se seleccionaron 5 parámetros fisicoquímicos: pH, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Se registró que el 51% de las personas se bañan 2 veces al día y el 16% se lava las manos 5 veces al día. Se obtuvo un consumo promedio de AGC de  $115 \pm 33$  [L/día], con un aporte promedio del  $21.5 \pm 0.06\%$  respecto a las aguas residuales domésticas (ARD), el cual se dividió en 20% por duchas y 1.12% por lavamanos. Los parámetros SST ( $185.8$  [mg/L]) y turbidez ( $223.9 \pm 8.02$  [NTU]) se vieron afectados por los aceites e intensificadores de espuma presentes en el champú y el jabón; el pH ( $7.5 \pm 0.05$ ) tuvo una leve tendencia alcalina por la presencia de sodio en el jabón corporal y los aumentos de DQO ( $769.5 \pm 11.9$  [mg/L]) y DBO<sub>5</sub> ( $342.1$  [mg/L]) se debe a ingredientes de origen orgánico que tienen productos de higiene personal como el champú.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, PhD. Ingeniería, área de énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Codirector: Daniela Cristina Rey Romero, MSc. Planificación y Desarrollo de Recursos Hidráulicos; Jessica Patricia Burgos Arias, ingeniera civil.

### Abstract

**Title:** Analysis of potable water use habits and its influence on the production and composition of light grey water generated inside a residential house in Bucaramanga, case study: La Victoria neighborhood.\*

**Author(s):** Lizeth Camila Fernández Acevedo\*\*

**Key Words:** light grey water, physicochemical parameters, water use habits.

**Description:** To preserve the water resource, alternatives have emerged such as the reuse of light grey water (LGW), however, despite having multiple studies on the treatment that LGW requires to be reused, there is a few information on the factors affecting their quality and production. To help reduce this information gap, this research study studied the drinking water use habits of the population of the La Victoria neighborhood in the Bucaramanga city (Colombia) by means of face-to-face surveys of 94 residential dwellings and analyzed the production and quality of the LGW of a dwelling in that neighborhood by means of capacity days and sampling. Five physicochemical parameters were selected to determine the quality of the LGW: pH, turbidity, total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>). It was recorded that 51% of people bathe twice a day and 16% wash their hands 5 times a day. We obtained an average consumption of AGC of  $115 \pm 33$  [L/day], with an average contribution of  $21.45 \pm 0.06\%$  compared to the domestic wastewater (DWW), which was divided into 20% by showers and 1.12% by sinks. TSS parameters (185.8 [mg/L]) and turbidity ( $223.9 \pm 8.02$  [NTU]) were affected by the foam oils and intensifiers present in shampoo and soap; pH ( $7.5 \pm 0.05$ ) had a slight alkaline tendency for the presence of sodium in body soap and increases in COD ( $769.5 \pm 11.9$  [mg/L]) and BOD<sub>5</sub> (342.1 [mg/L]) are due to ingredients of organic origin that have personal hygiene products such as shampoo.

---

\* Degree Work

\*\*Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Directors: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, PhD. Engineering, area of emphasis Sanitary and Environmental Engineering. Co-director: Daniela Cristina Rey Romero, MSc. Planning and Development of Hydraulic Resources; Jessica Patricia Burgos Arias, civil engineer.

## Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el 40% de la población mundial está afectada por la escasez de agua (ONU, 2015); en Colombia, 391 municipios hacen parte de este porcentaje (IDEAM, 2018). Bucaramanga, ciudad nororiental colombiana, centro de este estudio, es uno de los territorios con más vulnerabilidad a la disponibilidad de agua según el Estudio Nacional del Agua (ENA) de 2023, teniendo un índice de aridez entre las categorías de moderado a deficitario (IDEAM, 2023). La ONU, ante las cifras alarmantes de escasez de agua, planteó un “Objetivo de Desarrollo Sostenible” (ODS), enfocado en garantizar y preservar el recurso hídrico mundialmente. En consecuencia, en los últimos años han surgido nuevas alternativas para mitigar la escasez de agua potable, tales como el reúso de las aguas residuales domésticas (ARD), clasificadas en aguas negras (AN) y aguas grises (AG) (Giresunlu & Baykal, 2016); de estas últimas se desprenden las aguas grises claras (AGC), producidas específicamente en lavamanos y duchas o bañeras (Department, 2010).

El reúso de las AGC ha sido considerado como una alternativa viable para la mitigación de escasez de agua potable, debido a su producción diaria (Lambert & Lee, 2018) y su concentración de carga contaminante baja respecto a las demás ARD (Madungwe & Sakuringwa, 2007). Lo anterior, genera disponibilidad y facilidad para la reutilización de las AGC debido a la poca complejidad del proceso que requeriría un tratamiento previo al reúso de dichas aguas (Wallin et al., 2021). La producción y composición de las AGC puede verse afectada por algunos factores (Wallin et al., 2021), como el estilo de vida de los habitantes, tipo de productos de limpieza e higiene utilizados, frecuencia de limpieza e higiene personal (Biswas et al., 2012), entre otros. Dada la variabilidad que puede presentarse en las características y producción de las

AGC, es fundamental determinar los hábitos del uso del agua a nivel de comunidades, zonas y/o viviendas residenciales, con el fin de establecer la relación de los hábitos del uso del agua con la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial.

A pesar de los múltiples estudios de tratamiento y reutilización de AGC a lo largo de los últimos años (Biswas et al., 2012) (Al-Jasser, 2011), existe muy poca información acerca de qué factores afectan la calidad del agua (Biswas et al., 2012)(Kadewa et al., 2020). Por lo tanto, este trabajo de grado tuvo como objetivo analizar la relación entre los hábitos de uso del agua potable con la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial de Bucaramanga, con el fin de responder al interrogante de ¿cómo influyen los hábitos del uso del agua en la calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en Bucaramanga? Para ello, se abordaron los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar los hábitos del uso del agua en un área residencial de Bucaramanga, y ii) Estimar la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en la ciudad de Bucaramanga.

Este trabajo de grado se realizó bajo el marco del trabajo de maestría en Ingeniería Civil “Evaluación de sistemas de tratamiento y reúso de aguas grises claras, aplicables a un sector residencial del Área Metropolitana de Bucaramanga, caso de estudio: Barrio La Victoria” (Arias, n.d.), con el fin de proporcionar información a futuras investigaciones sobre los hábitos del uso del agua de una comunidad que afectan la producción y calidad de las AGC para llegar a precisar los tratamientos más adecuados para el reúso de las AGC y mitigar la demanda de agua potable.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Analizar la relación entre los hábitos de uso del agua potable y la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial de Bucaramanga.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Caracterizar los hábitos del uso del agua en un área residencial de Bucaramanga.

Estimar la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en la ciudad de Bucaramanga.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Aguas grises claras**

Las aguas residuales (AR) son las aguas que cambian su calidad, composición química, física y microbiológica una vez son usadas en diferentes actividades antrópicas (Raček, 2020). Estas pueden tener distintas fuentes como la agricultura, la industria o las actividades domésticas, las últimas denominadas ARD, pueden agruparse según su origen en AN y AG. Las AN son las producidas por el inodoro y los urinarios (Raček, 2020), lo cual hace que este tipo de aguas presenten una alta concentración de contaminación por los residuos fecales, siendo complejo su tratamiento para el reúso (Raček, 2020).

Por otro lado, las AG son las ARD generadas por fuentes distintas a los inodoros (Al-Jasser, 2011), como las generadas por las duchas, lavamanos, cocinas y lavadoras. El origen de las AG hace que presenten niveles más bajos de contaminación y, por ende, mayor facilidad de tratamiento (Al-Jasser, 2011). Sin embargo, si se separan las AG provenientes de la ducha y lavamanos, denominadas AGC, la carga contaminante puede llegar a reducirse aún más, facilitando en un mayor porcentaje su tratamiento, convirtiendo a las AGC en una alternativa viable para la mitigación ante los escenarios de escasez de abastecimiento de agua potable (Kadewa et al., 2020).

### **2.2 Factores que afectan la producción y composición de las AGC**

Las AGC representan entre el 21 - 28% de la producción de ARD de una vivienda residencial unifamiliar (Giresunlu & Baykal, 2016), con un volumen variable en el lavamanos de 30 – 70 L/d y en la ducha de 200 - 350 L/d (Abedin & Rakib, 2013)(Bodnar et al., 2014), bajo el contexto de un hogar promedio de cuatro a cinco personas de clase media de un país en desarrollo (Abedin & Rakib, 2013). La variabilidad de estos valores puede deberse a múltiples factores

domésticos como el número de habitantes en el hogar, sus hábitos de uso del agua (Chrispim & Nolasco, 2017), su edad, salud y estilo de vida (Department, 2010), ya que sus actividades diarias pueden llegar a afectar la frecuencia del uso del agua en ducha y lavamanos (Abedin & Rakib, 2013).

Por otro lado, existen factores que afectan la composición de las AGC, como los productos de aseo e higiene personal utilizados, debido a la cantidad de sustancias orgánicas que los componen (Department, 2010)(Lambert & Lee, 2018)(Chrispim & Nolasco, 2017). En estudios registrados en literatura, se ha estimado que las actividades de limpieza del hogar son responsables de un 26.93% de importancia en la alteración de la composición de las ACG, con presencia de componentes como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y sólidos disueltos totales (SDT); el componente siguiente, con una importancia del 11.2% está asociado con la higiene personal por presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp* (Oteng-Peprah, de Vries, et al., 2018).

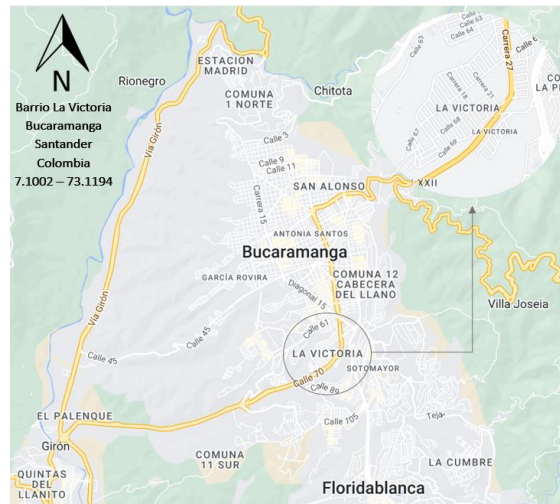
### 3. Metodología

#### 3.1 Área de estudio

El área de estudio escogida para realizar esta investigación fue el barrio La Victoria, ubicado en la comuna 6 de la ciudad de Bucaramanga, en el departamento de Santander, en Colombia (Figura 1), escogido por su baja tasa de intervención constructiva a gran escala como edificios o industrias y por su división socioeconómica cuya mayoría pertenece a estrato cuatro (95%); por último, se tuvo en cuenta la predominancia de las viviendas residenciales unifamiliares, las cuales serán definidas como la población de estudio. De acuerdo con la Junta de Acción Comunal (JAC) actualmente el barrio La Victoria cuenta con 1705 viviendas.

**Figura 1**

*Ubicación del área de estudio*



*Nota.* Tomado de Google Maps.

### **3.2 Fase I: Caracterización de los hábitos del uso del agua en un área residencial de Bucaramanga**

#### **3.2.1 Aplicación de encuesta**

Para determinar los hábitos del uso del agua y demás factores que afectan la producción y composición de las AGC, se aplicó un cuestionario a una muestra poblacional en el área de estudio por medio de entrevistas presenciales y aleatorias; este cuestionario estuvo acompañado de un consentimiento informado avalado por el Comité de Ética de la Universidad Industrial de Santander (UIS) con el fin de informar a los encuestados sobre el trabajo de investigación y el tratamiento de los datos recolectados. El cuestionario fue tomado del trabajo de maestría de Burgos (Arias, n.d.), donde se incluyeron 48 preguntas divididas en cuatro secciones: información general, hábitos de consumo de agua potable, percepción social y reutilización de aguas residuales y/o aguas lluvias.



Inicialmente se realizó una prueba piloto de 35 encuestas presenciales aleatoriamente a viviendas residenciales unifamiliares del mencionado barrio, con el fin de determinar errores en el cuestionario, información adicional que pudiera ser importante incorporar y estimar la población muestral que se debía considerar en este estudio para obtener una confiabilidad alta en los resultados. Esto último se realizó por el método para estimar el tamaño de muestra de una media, recomendado por García (García-garcía et al., 2013).

Para la estimación del tamaño de la muestra, se consideraron los resultados de la prueba piloto en relación con el consumo de agua potable en cada una de las viviendas residenciales, así como la cantidad de habitantes en cada una de ellas, lo que permitió obtener el consumo mensual per cápita de agua potable. Con estos datos, se calculó la desviación estándar para determinar el tamaño necesario de la muestra para este estudio. El método usado para calcular la muestra poblacional está basado en la Ecuación 1, de la cual se obtuvo un resultado de 94 encuestas.

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * S^2}{\delta^2} * \left(1 - \frac{n}{N}\right) \quad (1)$$

Donde:

$n$  = tamaño de la muestra.

$Z_{\alpha/2}$  = valor obtenido a partir de los niveles de confianza, 1.65 para un nivel de confianza del 90%.

$s$  = desviación estándar esperada, calculada con el consumo per cápita de agua por mes, obtenidos en la prueba piloto realizada inicialmente, con un valor de 2.20.

$\delta$  = error de estimación, 0.37, hallado con la Ecuación 2, donde  $m$  equivale al tamaño de la muestra para la prueba piloto (35).

N = tamaño de la población, 1705.

$$\delta = \frac{s}{\sqrt{m}} \quad (2)$$

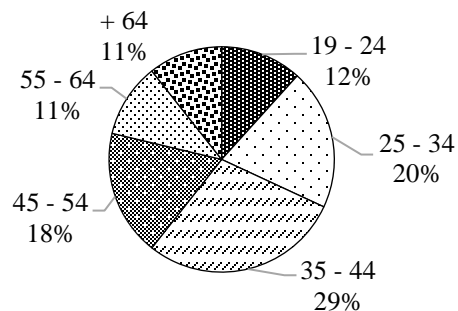
Donde:

m = tamaño de la muestra de la prueba piloto (35).

Seguido de esto se pasó a la aplicación de dicho cuestionario, en donde se procuró tener una distribución de edades con el fin de tener una muestra homogénea en el estudio y disminuir la variabilidad de resultados por este factor, ya que se ha registrado en la literatura que la edad de las personas puede influir en la producción y composición de las AGC (Craig & Richman, 2018). Las edades que participaron en el estudio, junto con el porcentaje que estas representan se muestran en la Figura 2.

### Figura 2

*Porcentaje de participación en la encuesta según la edad.*



#### 3.2.2 Tabulación de datos

Para procesar la información proporcionada por los habitantes del barrio La Victoria, se utilizó el programa Excel 2023, donde por medio de su herramienta de tablas dinámicas, se creó un tablero de mando que permitió analizar las respuestas obtenidas a través de gráficos. De esta

manera, se obtuvieron resultados diferenciados según factores como el género, el número de integrantes del hogar, la frecuencia con la que realizan actividades de limpieza en las duchas y lavamanos, entre otros.

### **3.3 Fase II: Análisis de la producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en la ciudad de Bucaramanga.**

Se seleccionó una vivienda residencial del barrio La Victoria, donde se realizó una jornada de aforos y muestreos durante ocho días, comprendidos entre el 29 de noviembre al 9 de diciembre de 2022. Durante los días laborales (lunes a viernes) se realizaron ocho muestreos en total para analizar los parámetros fisicoquímicos de las AGC, mientras que los aforos se llevaron a cabo durante todo el período, es decir, durante 15 días. El objetivo de los aforos fue determinar los volúmenes de producción de AGC durante este lapso.

#### ***3.3.1 Recolección de datos de producción de AGC***

Para determinar el volumen de producción de AGC en los puntos de lavamanos identificados en la vivienda de estudio, se instalaron recipientes volumétricos de 1 litro de capacidad debajo del desagüe de cada lavamanos debido al volumen promedio per cápita registrado en esta actividad, el cual tiene un valor aproximado de 0.5 litros (Álvarez et al., 2020). Los residentes de la vivienda iban registrando la información del volumen recogido después de cada uso del lavamanos en un formato dado al inicio de la jornada elaborado por Burgos (Arias, n.d.); este volumen era vaciado posteriormente en un recipiente de 208 litros de capacidad.

Por otro lado, en el caso de duchas/bañeras, se instalaron medidores de flujo de chorro único de agua fría marca Bar Meters, los cuales registraban el volumen de agua al usar la ducha. Antes de hacer uso de este espacio, los residentes tomaban la lectura del medidor de flujo y lo registraban en el formato dado (lectura inicial); al finalizar la ducha leían nuevamente el medidor

de flujo y registraban el volumen marcado (lectura final), logrando calcular el volumen de agua empleado en cada uso (diferencia entre la lectura final y la lectura inicial). Adicionalmente, en la ducha se instaló un recipiente con capacidad de 60 litros para recoger el agua usada en este espacio, el cual se vaciaba juntamente en el recipiente de 208 litros con lo producido en el lavamanos.

### ***3.3.2 Análisis de calidad de las AGC***

Con base en una revisión literaria compuesta por 10 artículos (descrita detalladamente en el Apéndice A) se concluyó que los cinco parámetros fisicoquímicos con mayor porcentaje de análisis en las AG son: Demanda Química de Oxígeno (DQO) [mg/L], Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) [mg/L], turbidez [NTU], pH y sólidos suspendidos totales (SST) [mg/L], los cuales fueron elegidos para ser analizados en el presente estudio siguiendo los protocolos de los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Residuales (Baird et al., 2019).

Para analizar la calidad de las AGC se formó una mezcla compuesta en el recipiente de 208 litros con el volumen de agua que se vaciaba después de cada uso en duchas y lavamanos. Esta muestra compuesta se desarrolló desde las 05:00 a.m. hasta las 2:00 p.m. de cada día de la jornada, debido a que la mayor producción de AGC en la vivienda se concentraba en ese rango horario (62% en promedio según lo registrado en el trabajo de maestría de Burgos (Arias, n.d.)). Posteriormente, se recolectaron 3 muestras de AGC en recipientes plásticos con capacidad de 1 litro para cada análisis. Estos recipientes fueron transportados hacia el laboratorio en una cava con hielo para asegurar una temperatura de 4°C.

Para llevar a cabo los métodos establecidos para el análisis de cada uno de los parámetros, se contrataron los servicios de un laboratorio externo certificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para analizar los parámetros de DBO<sub>5</sub> y SST. Los análisis de DQO, pH y turbidez fueron medidos en el laboratorio del Grupo de Investigación

en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de la UIS, cuyo procedimiento se encuentra descrito detalladamente en los Apéndices C, D, E y F de este documento. En la Tabla 1 se presentan los métodos utilizados para dicho análisis.

**Tabla 1**

*Métodos y laboratorios para el análisis de los parámetros fisicoquímicos elegidos.*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Laboratorio</b>
pH	SM 4500-H <sup>+</sup> B	GPH
Turbidez	SM 2130 B	GPH
SST	SM 2540 D	SIAMA
DQO	SM 5220 D	GPH
DBO <sub>5</sub>	SM 5210B	SIAMA
	SM 4500 O H	

### **3.4 Fase III: Análisis de datos de producción y calidad de las AGC generadas en una vivienda residencial en la ciudad de Bucaramanga.**

Con el fin de analizar los datos recopilados anteriormente, se implementaron medidas de tendencia central como media aritmética y desviación estándar; además, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (Murray, R. Spiegel; Larry, 2009) para determinar la variación entre la producción y el día de la semana, teniendo en cuenta que esta relación se ha concluido en la literatura (Abedin & Rakib, 2013). Se escogió esta prueba debido a la no homogeneidad en estos datos, la cual se comprobó con la prueba de Levene para un nivel de confianza del 95%, cuyo valor p dio como resultado  $p = 0.00048$ .

Se realizó una inspección en la lista de ingredientes de los productos de higiene personal más utilizados por los encuestados y en la vivienda de estudio, con el fin de correlacionarlos con la calidad de las AGC. Adicionalmente, los datos se compararon con lo reportado en la literatura

y, especialmente para la calidad de las AGC, se compararon con 4 normativas internacionales (Chile, Portugal, Italia y Canadá) de reúso de AG y AGC con el fin de proporcionar un contraste en los niveles de los parámetros estudiados para estudios futuros.

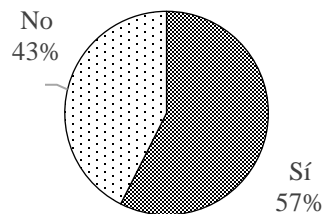
## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Caracterización de los hábitos del uso del agua en el Barrio La Victoria.

En primer lugar, se llevó a cabo una determinación de si las personas permanecían, o no, en su hogar la mayor parte del día. Los resultados se presentan en la Figura 3.

#### Figura 3

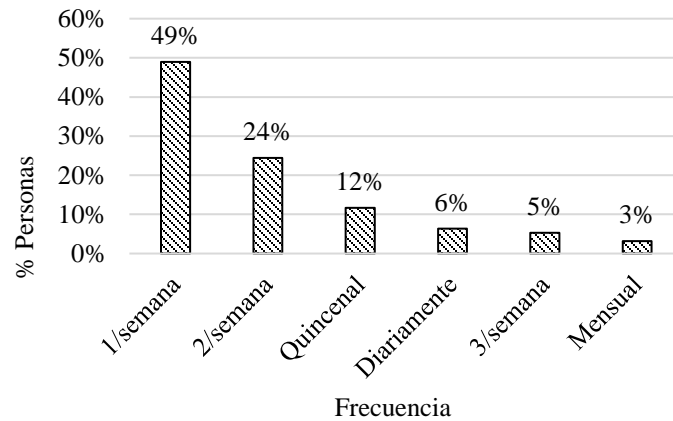
*Porcentaje de personas que permanecen o no en casa las 24 horas del día.*



Adicionalmente, se estudió la frecuencia con que las personas realizan actividades de aseo e higiene personal; en la Figura 4 se obtuvo la frecuencia con que las personas realizan actividades de limpieza en duchas y lavamanos; el estudio de estas actividades es importante debido a que los productos utilizados para llevarlas a cabo suelen contener altos niveles de Na (480 [mg/L]) y Cl<sup>-</sup> (53 – 880 [mg/L]) (Shamabadi et al., 2015).

#### Figura 4

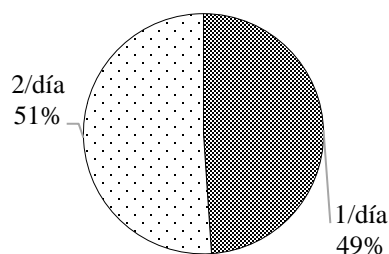
*Frecuencia con que realizan actividades de limpieza en duchas y lavamanos.*



Por otra parte, debido al impacto que tienen los productos de higiene personal en la calidad del agua (Biswas et al., 2012), se registró la frecuencia con que las personas realizan algunas actividades de higiene personal, tabuladas en las Figuras 5 - 9. La primera de ellas es la frecuencia con que las personas se bañan (Figura 5).

### Figura 5

*Frecuencia con que las personas se bañan*

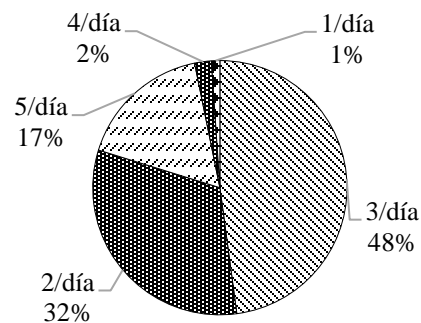


Teniendo en cuenta que en el lavamanos se realizan dos actividades distintas, cepillarse los dientes y lavarse las manos, en las siguientes figuras se presenta la frecuencia con que las personas hacen uso de este espacio para cada una de las actividades. En la Figura 6, está la frecuencia con que se cepillan los dientes, teniendo en cuenta que dentro de las personas que realizan esta actividad, el 93% cierra la llave del grifo mientras se cepillan los dientes y el 7% restante no lo hace. Estos porcentajes coinciden con lo registrado en un estudio realizado en México donde la

mayor parte de las personas encuestadas cierran la llave cuando se cepillan los dientes (García et al., 2022).

### Figura 6

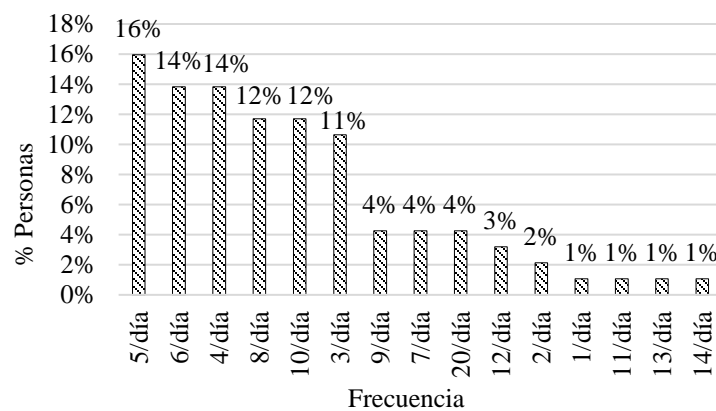
*Frecuencia con que las personas se cepillan los dientes*



En la Figura 7, se registró la cantidad de veces por día que las personas se lavaban las manos, donde la frecuencia más alta fue de 5 veces al día, realizada por el 16% de los encuestados.

### Figura 7

*Frecuencia con que las personas se lavan las manos*

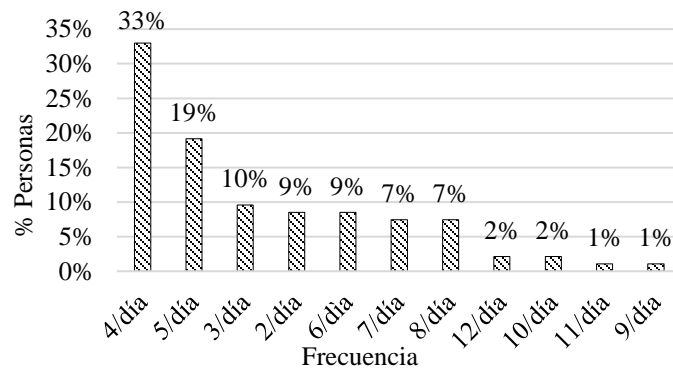


En la Figura 8, se registró la frecuencia con que las personas descargan el sanitario, dentro de las cuales, la mayor parte de las personas (64%) descarga el sanitario en todas las ocasiones, coincidiendo con lo registrado en la literatura (García et al., 2022). El 36% restante no lo descarga cuando solamente han orinado.



**Figura 8**

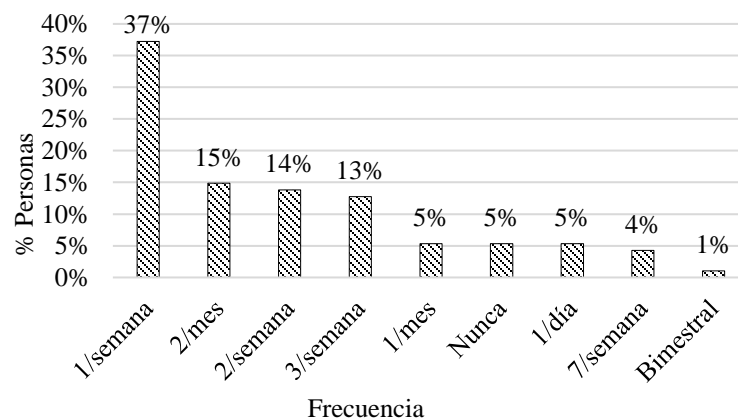
*Frecuencia con que las personas descargan el inodoro*



Finalmente, en la Figura 9 se muestra la frecuencia con que las personas se afeitan y/o se depilan. Estos resultados son importantes ya que inciden en la calidad de las AGC (Bodnar et al., 2014).

**Figura 9.**

*Frecuencia con que las personas se afeitan o depilan*



## 4.2 Estimación de la producción y calidad de las AGC en una vivienda residencial del barrio La Victoria.

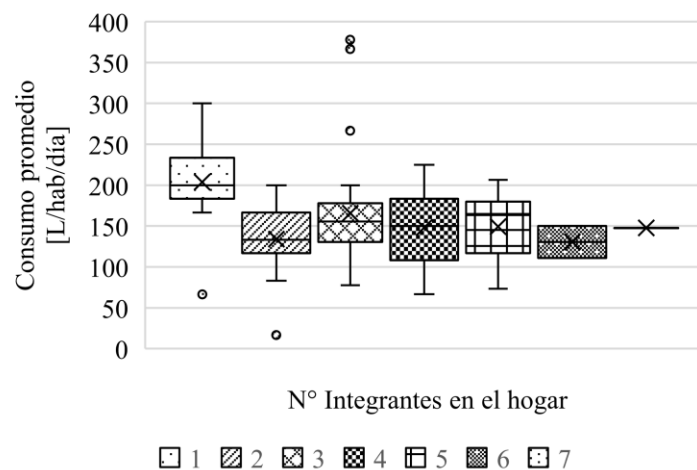
### 4.2.1 Producción de las AGC

Inicialmente, se tuvo la información del consumo mensual de agua potable en cada una de las viviendas residenciales encuestadas y el número de habitantes en cada una de ellas. Con la

relación de estos dos datos, se pudo obtener el valor del consumo de agua potable per cápita mostrado en la Figura 10, donde el mayor consumo de agua potable se presenta en viviendas residenciales de un solo habitante, teniendo un rango entre 167 – 300 [L/hab/día], mientras que el menor consumo, 67 – 255 [L/hab/día] está en las viviendas de 4 habitantes, caso de la vivienda de estudio de esta investigación.

### Figura 10

*Consumo de agua potable per cápita [L/hab/día] en las encuestas*



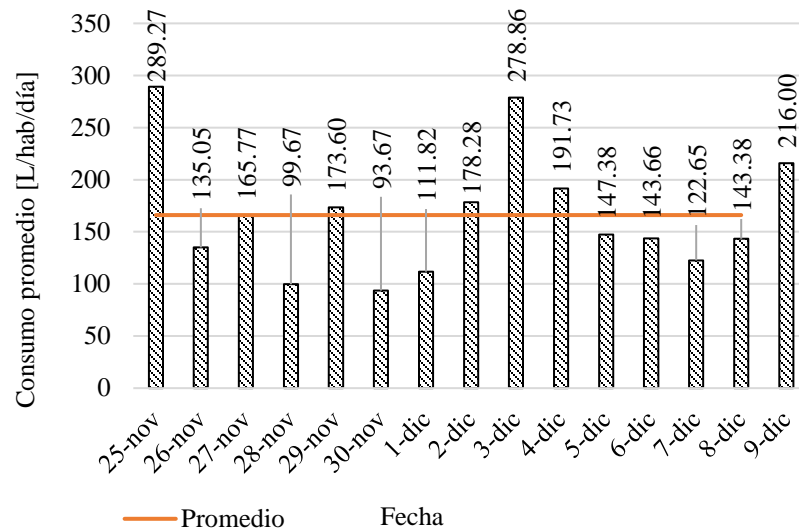
Al calcular el valor promedio general de consumo per cápita a partir de los datos recopilados en las encuestas, se obtuvo un valor de  $155 \pm 55$  [L/hab/día], el cual está por encima de la dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar indicado en la Resolución 0330 del 2017 (140 [L/hab/día]) (Resolución 0330, 2017). Los valores registrados en la literatura, así como se muestra en la Tabla 2, oscilan entre 82 – 557 [L/hab/día], (Lambert & Lee, 2018)(Al-Jasser, 2011)(Raček, 2020)(Oteng-Peprah, de Vries, et al., 2018)(Antonopoulou et al., 2013)(Álvarez et al., 2020); de estos valores, el más cercano al resultado obtenido fue el registrado en un estudio en la ciudad de Bucaramanga, Colombia (localización de esta investigación) con un valor de 160 [L/hab/día] de la misma manera se presentó en México y Grecia

con un valor de 190 y 142 [L/hab/día], respectivamente, mientras que los valores registrados en Arabia Saudita (230 [L/hab/día]) y Venezuela (308 [L/hab/día]) son superiores a lo registrado. Sin embargo, en República Checa y Ghana, se presentan valores más bajos, 88 y 82 [L/hab/día], respectivamente.

El valor más alejado de lo concluido en esta investigación se presenta en Qatar (557 [L/hab/día]). Este valor puede justificarse debido a que la religión predominante es el islam (77%) (De et al., 2023), en la cual practican hábitos como la ablución, definida como un ritual de purificación por medio de agua antes de la oración (Sultana et al., 2022). Según la literatura, esta práctica es la segunda con más consumo de AGC, después de la ducha, con un volumen de 8 [L/hab/día] (Sultana et al., 2022). Se repitió el mismo procedimiento anterior para la vivienda objeto de estudio, utilizando los registros de volumen de agua potable durante la jornada de aforos y tomando en consideración los cuatro miembros de la familia (véase Figura 11). Seguido de esto, se obtuvo un valor promedio de consumo per cápita de agua potable de  $166 \pm 59$  [L/hab/día], el cual está dentro del rango registrado en las encuestas realizadas para viviendas de 4 habitantes y cumple con las mismas relaciones del consumo per cápita determinado en la encuesta con la literatura, cuyo resumen se encuentra en la Tabla 2 (Lambert & Lee, 2018)(Al-Jasser, 2011)(Raček, 2020)(Oteng-Peprah, de Vries, et al., 2018)(Antonopoulou et al., 2013)(Álvarez et al., 2020).

### **Figura 11**

*Consumo de agua potable per cápita [L/hab/día] en la vivienda de estudio.*

**Tabla 2**

*Comparación de consumo diario per cápita promedio de agua potable.*

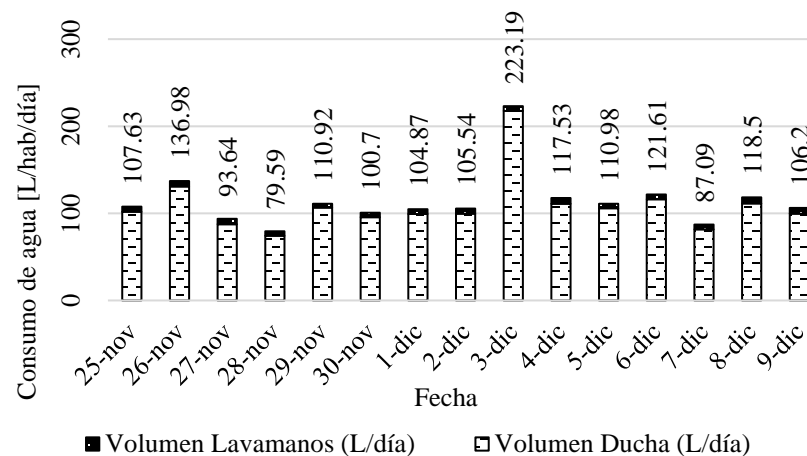
Consumo promedio diario [L/hab/día]		
<b>Encuesta</b>	Media	155 ± 55
<b>Vivienda de estudio</b>	(± desviación estándar)	166 ± 59
	Bucaramanga <sup>1</sup>	160
	Grecia <sup>2</sup>	142
	Arabia <sup>3</sup> saudita	230
<b>País/ Ciudad</b>	República <sup>4</sup> Checa	88
	Ghana <sup>5</sup>	82
	México <sup>6</sup>	190
	Venezuela <sup>7</sup>	308
	Qatar <sup>8</sup>	557

*Nota.* Tomado de (Álvarez et al., 2020)<sup>1</sup> (Antonopoulou et al., 2013)<sup>2</sup> (Al-Jasser, 2011)<sup>3</sup> (Raček, 2020)<sup>4</sup> (Oteng-Peprah, de Vries, et al., 2018)<sup>5</sup> (García et al., 2022)<sup>6</sup> (Rivera-Pérez et al., 2020)<sup>7</sup> (Lambert & Lee, 2018)<sup>8</sup>

Después de la jornada de aforos realizada en la vivienda residencial unifamiliar seleccionada del barrio La Victoria, compuesta por 4 habitantes, se obtuvieron los valores diarios del volumen de producción de AGC, los cuales están representados en la Gráfica 11; dichos valores oscilan entre 79.59 – 223.19 L/día, con un promedio de  $115 \pm 33$  L/día. Estos resultados, como lo muestra la Tabla 3, son levemente inferiores a los registrados en un estudio realizado en Bucaramanga en un apartamento de estrato 3 de 4 habitantes, donde el volumen de AGC se registró en 133 L/día con una persona en casa permanentemente y en 161 L/día con los 4 integrantes en casa permanentemente (Álvarez et al., 2020). Es preciso aclarar que el estudio mencionado anteriormente solo se realizó en una vivienda residencial (así como la vivienda de estudio de esta investigación), sin embargo, no contó con la cantidad de viviendas que este estudio tuvo en cuenta en la encuesta realizada.

**Figura 12**

*Producción de AGC [L/día]*



Por otro lado, los resultados del volumen de producción de AGC también son inferiores a lo registrado en un estudio realizado a viviendas residenciales en Yemen (1 vivienda residencial, 221 L/día) (Al-Mughalles et al., 2012) y en Dhaka, Bangladesh (cuya muestra de estudio fueron

5 viviendas), en el cual se obtuvo que el volumen de AGC oscila entre 240 – 365 L/día (Abedin & Rakib, 2013); este último también podría ser consecuencia de la ablución (Sultana et al., 2022). También, considerando el número de habitantes de la vivienda de estudio (4) y el volumen diario total de AGC ( $115 \pm 33$ ), se logró obtener el consumo de AGC diario por habitante, teniendo como resultado un volumen promedio de  $33 \pm 7$  L/persona/día.

**Tabla 3**

*Comparación de producción diaria de AGC*

Consumo promedio diario [L/día]		
<b>Vivienda de estudio</b>	Media	$115 \pm 33$
	( $\pm$ desviación estándar)	
<b>País/Ciudad</b>	Bucaramanga <sup>1</sup>	133 - 161
	Bangladesh <sup>2</sup>	240 - 365
	Yemen <sup>3</sup>	221

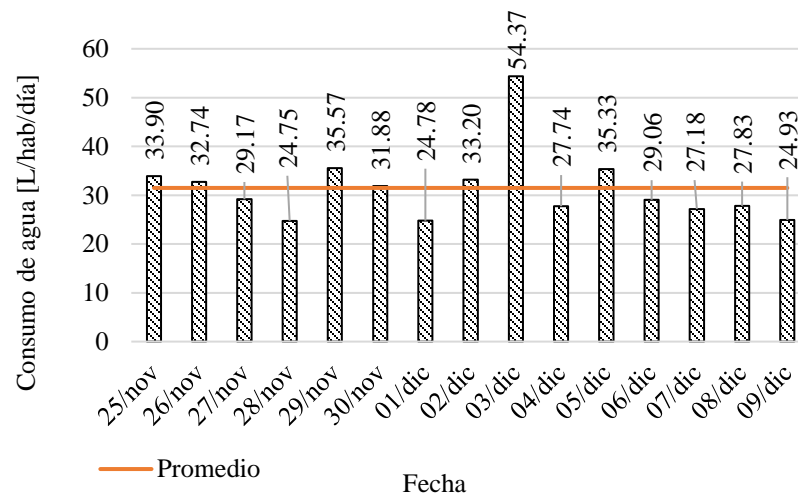
*Nota.* Tomado de (Álvarez et al., 2020)<sup>1</sup> (Abedin & Rakib, 2013)<sup>2</sup> (Al-Mughalles et al., 2012)<sup>3</sup>

Este volumen de AGC se divide en lo producido en duchas y lavamanos. En la Figura 13 se presenta el consumo per cápita de agua potable en duchas durante la jornada de aforos, obteniendo un promedio de  $32 \pm 7$  L/hab/día. En la Tabla 4 se muestra el rango de este valor según estudios registrados en la literatura, de lo cual se puede decir que el valor promedio de consumo en este estudio es cercano a los encontrados en países como India (30 [L/hab/día]), Yemen (32 [L/hab/día]), Grecia (34 [L/hab/día]) y Colombia (30 [L/hab/día]) (Álvarez et al., 2020), cuyo estudio se realizó en la ciudad de Bucaramanga para un apartamento estrato 3 de 4 habitantes (Antonopoulou et al., 2013)(Mandal et al., 2011)(Al-Mughalles et al., 2012). Por otra parte, también se encontraron estudios con cifras considerablemente superiores a las registradas en esta investigación, en Reino Unido cuyo registro de consumo de agua potable en la ducha fue de 58

[L/hab/día] y en Venezuela con un valor de 77 [L/hab/día], más del doble de lo obtenido en este estudio (Rivera-Pérez et al., 2020).

### Figura 13

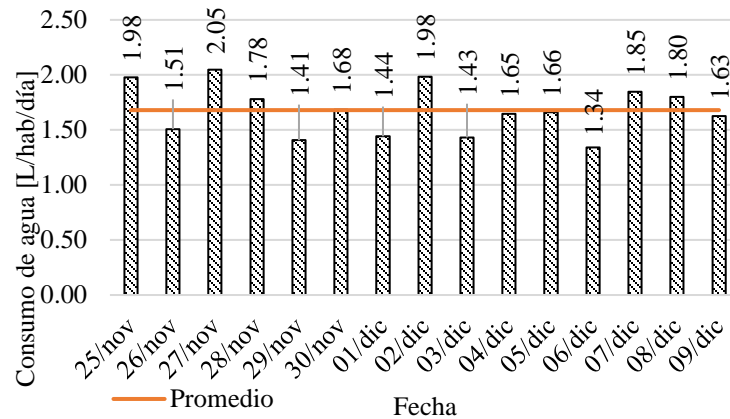
*Consumo diario per cápita de agua potable en duchas*



Los valores registrados del consumo para lavamanos se presentan en la Figura 14, con un promedio de  $1.7 \pm 0.2$  L/hab/día, el cual fue comparado con lo registrado en la literatura, cuyo resumen se encuentra en la Tabla 4. De allí se pudo evidenciar que este valor se encuentra por debajo todos los valores registrados, equivalentes a países como Yemen (4.7 [L/hab/día]), Grecia (8.6 [L/hab/día]) y Jordania (28 [L/hab/día]). Esta diferencia también se presenta respecto al estudio realizado en Bucaramanga con un valor de 4.9 y 8.3 [L/hab/día] cuando las personas están fuera de casa y permanentemente en ella, respectivamente. (Antonopoulou et al., 2013)(Al-Mughalles et al., 2012)(Ghunmi et al., 2008)(Zadeh et al., 2014).

### Figura 14

*Consumo diario per cápita de agua potable en lavamanos*

**Tabla 4**

*Comparación de producción de AGC en duchas y lavamanos con los resultados mínimos y máximos de la literatura*

Consumo promedio diario [L/hab/día]			
Vivienda de estudio	Media ( $\pm$ desviación estándar)	Ducha	Lavamanos
		31 $\pm$ 7	1.7 $\pm$ 0.2
	India <sup>1</sup>	30	-
	Bucaramanga <sup>2</sup>	30	4.9 - 8.3
	Yemen <sup>3</sup>	32	4.7
<b>País/</b>	Grecia <sup>4</sup>	34	8.6
<b>Ciudad</b>	Reino Unido <sup>5</sup>	58	-
	Venezuela <sup>6</sup>	77	-
	Bangladesh <sup>7</sup>	28	-
	Jordania <sup>8</sup>	-	28.0

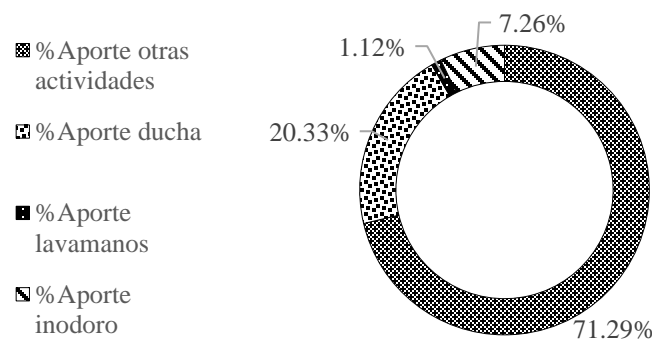
*Nota.* Tomado de (Mandal et al., 2011)<sup>1</sup> (Álvarez et al., 2020)<sup>2</sup> (Al-Mughalles et al., 2012)<sup>3</sup> (Antonopoulou et al., 2013)<sup>4</sup> (Zadeh et al., 2014)<sup>5</sup> (Rivera-Pérez et al., 2020)<sup>6</sup> (Sultana et al., 2022)<sup>7</sup> (Ghunmi et al., 2008)<sup>8</sup>



Se pudo obtener el porcentaje de aporte de las AGC respecto el volumen total de agua potable en la vivienda residencial, registrado con un valor de  $21.4 \pm 0.06 \%$ , como lo muestra la Figura 15 (%Aporte de ducha + %Aporte de lavamanos). En la Tabla 5 se presenta el resumen de porcentajes de aporte de AGC registrados en la literatura, donde el valor hallado en este estudio se acerca a lo definido en un estudio en la ciudad de Bucaramanga cuando sus habitantes (4) permanecen en casa (21.9%) (Álvarez et al., 2020). Por otro lado, el valor de este estudio está por debajo de lo registrado en Turquía con un valor del 28% (Giresunlu & Baykal, 2016). Finalmente, el valor mínimo de esta revisión literaria fue de 18.9%, registrado en el estudio realizado en la ciudad de Bucaramanga cuando los habitantes no se encuentran en el hogar permanentemente (Álvarez et al., 2020).

**Figura 15**

*Porcentaje promedio de aporte de actividades respecto al consumo de agua potable*



**Tabla 5**

*Comparación del porcentaje de aporte de las AGC respecto a las ARD con lo mínimo y máximo registrado en la literatura*

% Aporte de las AGC respecto a las ARD	
Vivienda de estudio	País/ Ciudad

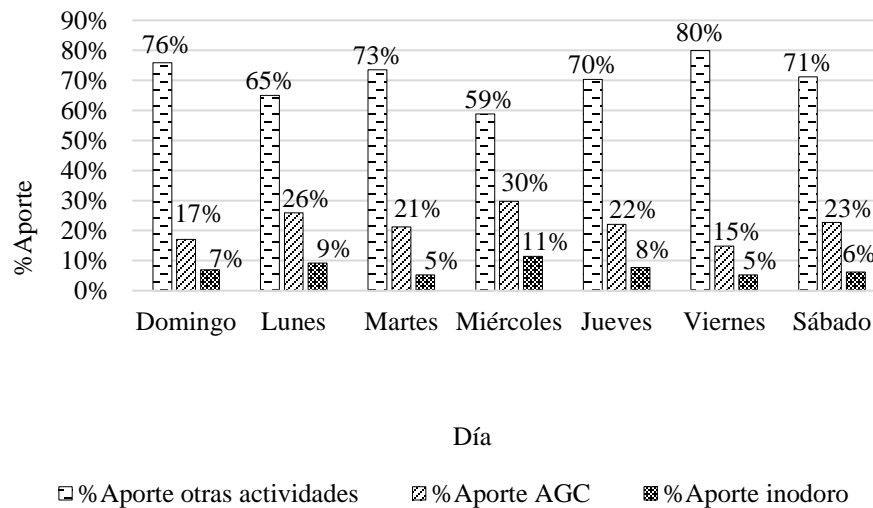
Media ( $\pm$ desviación estándar)	Bucaramanga <sup>1</sup>	Turquía <sup>2</sup>
21.45 $\pm$ 0.06	18.9 - 21.9	28

*Nota.* Tomado de (Álvarez et al., 2020)<sup>1</sup> (Giresunlu & Baykal, 2016)<sup>2</sup>

Finalmente, se obtuvo el porcentaje de aporte de las AGC respecto al consumo de agua potable de acuerdo con el día de la semana, el cual se puede evidenciar en la Figura 16, ya que, en la literatura, se ha concluido que la producción de AG aumenta en los días festivos (sábados y domingos) o durante vacaciones (Abedin & Rakib, 2013).

### Figura 16

*Aporte promedio por días de actividades respecto al consumo de agua potable*



#### 4.2.2 Calidad de las AGC

Para simplificar la comparación de la calidad de las AGC de la vivienda de estudio con los valores reportados en la literatura, se muestran en la Tabla 6 los resultados de los parámetros analizados en esta investigación y los valores correspondientes hallados en estudios previos.

**Tabla 6**

Valores de los parámetros en la vivienda de estudio y lo registrado en la literatura.

País	Tipo	Parámetros					
		pH	Turbidez [NTU]	SST [mg/L]	DQO [mg/L]	DBO <sub>5</sub> [mg/L]	
Vivienda de estudio		7.5 ± 0.05	223.9 ± 8.02	185.8	769.5 ± 11.9	342.1	
Alemania 1	AGC	8.4 ± 0.3	-	-	328 ± 211	-	
República Checa <sup>2</sup>		5.0 - 8.6	20 - 370	-	-	19 - 200	
Brasil <sup>3</sup>	AG	-	100	155.8	272.8	123.1	
		-	48.7	18.5	208.1	101	
India <sup>4</sup>	AG	7.3 - 8.1	-	100 - 283	250 - 375	100 - 188	
Pakistán <sup>4</sup>		6.2	-	155	146	56	
Nigeria <sup>4</sup>		6.9	85.00	-	-	106	
Yemen <sup>4</sup>		6	619.0	511	2000	518	
USA <sup>4</sup>		6.4	31.10	17	-	86	
UK <sup>4</sup>		6.6 - 7.6	26.5 - 164	37 - 153	96 - 587	39 - 155	
España <sup>4</sup>		7.6	20.0	32	151 - 177	-	
Alemania <sup>4</sup>		7.6	29.0	-	109	59	
Bangladesh 5		AGC	6.28	88.8	78.7	690	366.7
Hungría <sup>6</sup>			7.6 ± 0.3	25.5 ± 22.7	67.8 ± 64.6	-	111.9 ± 73.8

Nota. Tomado de (Morandi et al., 2021)<sup>1</sup> (Raček, 2020)<sup>2</sup> (Chrispim & Nolasco, 2017)<sup>3</sup> (Oteng-Peprah, Acheampong, et al., 2018)<sup>4</sup> (Abedin & Rakib, 2013)<sup>5</sup> (Bodnar et al., 2014)<sup>6</sup>

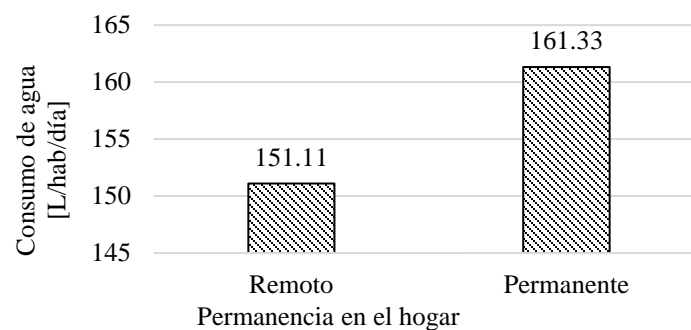
### 4.3 Relación entre los hábitos de uso del agua potable y la producción y calidad de las AGC generadas en la vivienda residencial de estudio.

#### 4.3.1 Relación de los hábitos del uso del agua potable con la producción de las AGC

En primera instancia, se compararon los resultados de la Figura 3 con el consumo diario per cápita de agua potable, cuyos resultados son mostrados en la Figura 17, corroborando que las personas que están permanentemente en el hogar tienen un mayor aporte en el consumo de agua potable.

**Figura 17**

*Consumo diario per cápita de agua potable según la permanencia en el hogar*



La tendencia observada anteriormente podría explicarse por el hecho de que las personas que pasan la mayor parte del día fuera de casa realizan diversas actividades en lugares externos al hogar, como descargar el sanitario, lavarse las manos, cocinar, entre otras. Aunque se cree que esta es la causa, es importante realizar un estudio detallado para corroborar estos factores y determinar otros posibles influyentes.

Adicionalmente, los datos del estudio de la frecuencia con que las personas realizan actividades de limpieza de duchas y lavamanos (Figura 4), se relacionaron con el consumo per cápita de agua potable de la Tabla 7, donde se evidencia que el mayor consumo se da en las viviendas que realizan actividades de aseo diariamente, seguido de las viviendas que lo hacen tres veces por semana.

**Tabla 7**

*Consumo mensual per cápita promedio de acuerdo con la frecuencia con que realizan actividades de aseo en ducha y lavamanos (promedio  $\pm$  desviación estándar)*

<b>Frecuencia</b>	<b>Consumo per cápita promedio [L/mes]</b>
Diariamente	187 $\pm$ 145
3/semana	166 $\pm$ 40
2/semana	154 $\pm$ 43
Semanal	151 $\pm$ 49
Quincenal	154 $\pm$ 38
Mensual	153 $\pm$ 27

De la Figura 5, que muestra la frecuencia con que las personas se bañan, se puede decir que, bajo el contexto de esta investigación y las jornadas de aforos en la vivienda de estudio, se determinó que el uso promedio de agua potable en la ducha es de 109  $\pm$  33 L/día, con un aporte del 20% respecto a las ARD, haciendo uso de este espacio aproximadamente 4 veces al día. Teniendo en cuenta que en la vivienda residían 4 personas, la ducha era usada 1 vez al día por cada uno de ellos, donde el consumo per cápita por día de agua potable en la ducha es de 31 L/hab/día (Tabla 4). Aquellos individuos que se duchan de manera añadida todos los días están consumiendo volumen adicional de agua potable, aumentando la producción de AGC y convirtiendo a este factor en un impacto notable en dicha producción

En la Tabla 4 se muestra una comparación de estos datos obtenidos con los registrados en la literatura, afirmando que lo normalmente hallado es superior al de la vivienda de estudio. Esto podría deberse al estilo de vida de cada persona y el cambio climático en las distintas partes de estudio (Rivera-Pérez et al., 2020), que, al tener temporadas de invierno, como es el caso de Reino Unido (volumen más alto en duchas), es habitual utilizar calentador en casa, lo cual es poco común

en Bucaramanga (según la encuesta realizada, tan solo el 12% de los participantes se duchan con agua caliente). El uso de estos electrodomésticos genera mayor consumo de agua en duchas debido al tiempo que las personas dejan correr el agua para lograr una temperatura deseada (March et al., 2015).

Por otro lado, como resultado de la jornada de aforos, se determinó que en la vivienda de estudio el volumen promedio de AGC generado en el lavamanos, en promedio 9 veces al día por 4 habitantes (2.25 veces por persona), para lavado de manos y cepillado de dientes, es de  $5.8 \pm 0.7$  L/día con un aporte del 1.12% respecto a las AR. El promedio de uso del lavamanos, según la encuesta realizada y la Figura 7, es de 10 veces al día por habitante, donde 3 veces es usado para cepillarse los dientes y 7 veces para el lavado de manos.

De igual manera, en la Tabla 4 se registra una comparación de los datos obtenidos con los registrados en la literatura, notando que, respecto a estos valores, los obtenidos en la vivienda de estudio en la Figura 7, son menores a estos. Esto se debe a que la frecuencia de uso del lavamanos en la vivienda de estudio está por debajo del promedio obtenido en la encuesta y, de igual manera, inferior a las frecuencias registradas por el 97% de los encuestados, lo que produce que en el 97% de los casos, según nuestro estudio, se genere un mayor volumen de AGC por lavamanos y un mayor aporte que el 1.12% respecto a las ARD.

El hábito de lavarse las manos también se asoció con la permanencia en el hogar, cuyos resultados indicaron que las personas que están permanentemente en el hogar se lavan las manos con menor frecuencia durante el día (6 veces en promedio), en comparación con las personas que permanecen fuera del hogar en algún momento del día, quienes lo hacen con mayor frecuencia (9 veces en promedio). Esto podría explicarse por el hecho de que las personas tienden a pensar que,

al salir de casa, están expuestas a más contaminantes y contactos con otras personas, lo que genera un mayor compromiso con la higiene (Sultana et al., 2022).

De acuerdo con lo registrado del aporte de AGC respecto a las ARD (Figura 15), en la Tabla 5 se presentan los porcentajes de aporte de AGC registrados en estudios anteriores. Esta diferencia podría atribuirse a que en la vivienda residencial estudiada los habitantes tenían hábitos de ahorro de agua potable como cerrar la llave del grifo mientras se cepillan los dientes. Otra razón podría ser el volumen promedio que gastan los habitantes de la vivienda en la ducha y el lavamanos que, como se demostró anteriormente, el volumen de AGC producido es inferior a lo expuesto en la Tabla 4. Adicionalmente, en la vivienda de estudio habitaban 4 personas, sin embargo, durante algunos días, una persona estuvo por fuera del hogar, lo que genera menor producción de AGC, por ende, menor porcentaje de aporte de esta fuente respecto a las AR.

Finalmente, en la literatura se ha concluido que la producción de AG aumenta en los días festivos (Abedin & Rakib, 2013) (Figura 16), por lo cual, con el fin de determinar si esta relación se cumple en este estudio, se decidió realizar una prueba estadística. Inicialmente se hizo la comprobación de normalidad de la muestra por medio del método de Shapiro-Wilk (por ser más apropiada para muestras pequeñas) para un nivel de confianza del 95%, cuyo valor p dio como resultado 0.24, por lo que se puede concluir que los datos se ajustan a una distribución normal. Seguido de esto, se realizó la prueba de homogeneidad, por medio del método de Levene el valor p arrojó un resultado de  $p = 0.00048$ , concluyendo que las muestras no son homogéneas, por lo cual se decidió realizar una prueba estadística no paramétrica, en esta ocasión, Kruskal-Wallis, siguiendo la Ecuación 3 para un nivel de confianza del 95%.

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - N}} \quad (3)$$

Donde:

$N = 15$

$R$  = Rango asignado a los valores

$n$  = Número de valores en el grupo  $i$ .

$T = t^3 - t$ , donde  $t$  es igual al número de casos repetidos.

En esta prueba se obtuvo un valor  $H = 12.06$ , cuyo valor  $p$  equivale a  $p = 0.06$ , concluyendo que no existe diferencia significativa entre los días de la semana y el porcentaje de aporte de AGC, por lo que en esta investigación no se cumple lo registrado en la literatura anteriormente mencionado. Este resultado puede atribuirse al corto tiempo en el cual se realizó la jornada de aforos y a la única muestra estudiada (vivienda de estudio), por lo que se recomienda estudiar más a fondo la producción de las AGC en estas condiciones en una ventana de tiempo y muestra más amplia.

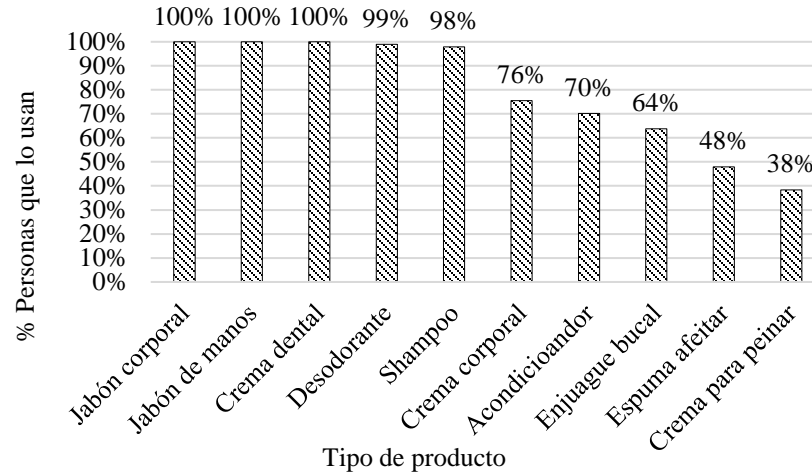
#### ***4.3.2 Relación de los hábitos del uso del agua potable con la calidad de las AGC***

Debido a la frecuencia que tienen los habitantes en la ducha y el lavamanos, se determinó, en la Figura 18, el porcentaje de personas encuestadas que utilizan los productos de higiene personal.

#### **Figura 18**

*Porcentaje de uso por los usuarios de los productos para la higiene personal*





Para correlacionar los productos de higiene personal utilizados por los habitantes de las viviendas (Figura 18), con la calidad de las AGC (debido a su papel fundamental en la calidad del agua) en relación con los cinco parámetros fisicoquímicos elegidos (Tabla 6), se examinaron las listas de ingredientes de los 18 productos de higiene personal utilizados en la vivienda de estudio, así como los más utilizados en cada categoría según las encuestas realizadas, que fueron 11 en total. De estos, se encontró que la marca de 6 productos de higiene personal (jabón corporal, crema dental, champú, crema corporal, enjuague bucal y crema para peinar) usados en la vivienda de estudio y registrados en la literatura, coincidían.

La turbidez de las AGC se estimó en  $223.9 \pm 8.02$  [NTU], presentando valores muy similares a los registrados en Bangladesh, país en desarrollo (Bodnar et al., 2014) y, considerando que la turbidez es una medición óptica que indica la presencia de partículas suspendidas en el agua (Abedin & Rakib, 2013), se puede decir que este valor es causado por las bacterias, cabello, materia orgánica y sólidos como piel, partículas o pelusas (Abedin & Rakib, 2013).

Además, es posible que el aumento en la turbidez se deba a los residuos generados por los productos de higiene personal, como el jabón y el champú (Abedin & Rakib, 2013), los cuales son utilizados diariamente por el 100% y 98% de los encuestados, respectivamente. Al revisar los

ingredientes de estos productos, se encontró que algunos de ellos, como el jabón, champú y acondicionador, contienen extractos de aceites como el aceite de semilla de linaza, aceite de hoja de menta y aceite de coco nucifera, lo que también podría contribuir a la turbidez (Abedin & Rakib, 2013).

Los SST, al igual de la turbidez, caracterizan las fracciones insolubles del agua (Abedin & Rakib, 2013); el resultado de este parámetro fue de 185.8 [mg/L], variando un poco a lo registrado en estudios anteriores donde este valor oscila de 172 – 235 [mg/L] (Oteng-Peprah, Acheampong, et al., 2018) (Tabla 6). La variación de este parámetro puede deberse a la pasta de dientes, residuos de afeitado, espuma de los productos de higiene personal, piel, cabello y grasas corporales en la ducha (Bodnar et al., 2014). De las causas mencionadas anteriormente, la crema dental es usada por el 100% de los encuestados por lo menos una vez al día; la frecuencia con que los encuestados se afeitan y/o depilan se encuentra en la Figura 9, donde la mayoría de ellos realizan esta actividad una vez por semana. En la vivienda de estudio realizaban esta actividad con mayor frecuencia, 3 veces por semana. La frecuencia de estas actividades puede ser determinante en el aumento de niveles de SST.

Por otro lado, la espuma de los productos de higiene personal también podría afectar este parámetro (Bodnar et al., 2014). En la inspección de ingredientes realizada se encontró que algunos productos para la higiene personal como el jabón de manos, jabón fácil y champú contienen ingredientes potenciadores de espuma como el lauroil sarcosinato de sodio, cocamidopropil betaína y cloruro de hidroxipropiltrimonio de guar. Estos productos, en la vivienda de estudio, son utilizados todos los días, lo que justifica los residuos de espuma que quedan en las AGC produciendo un aumento de SST.

El resultado promedio del parámetro pH fue de  $7.5 \pm 0.05$ , resultados similares a los registrados en la literatura (Bodnar et al., 2014)(Morandi et al., 2021)(Oteng-Peprah, Acheampong, et al., 2018) (Tabla 6). Luego de la revisión de ingredientes realizada, se pudo observar que la ligera tendencia alcalina del pH puede ser atribuida al contenido de sodio presente en el jabón corporal (Chripim & Nolasco, 2017), el cual contiene ingredientes de origen orgánico como el oleato de sodio y el palmitato de sodio, los cuales son utilizados como sustancia detergente; aunque el sodio no es el único compuesto que ejerce alcalinidad (el hidróxido de potasio también cumple esta función), fue el compuesto con más presencia en los productos de higiene personal. Dentro de la revisión de la lista de ingredientes había dos marcas distintas de jabón corporal, de cual se pudo encontrar que la variación en sus ingredientes es mínima, ya que comparten el 91% de sus componentes, por lo tanto, no se puede determinar con precisión qué tipo de jabón corporal afecta más el nivel de pH de las AGC.

Es importante destacar que el jabón corporal es utilizado por el 100% de las viviendas encuestadas, así como se mostró en la Figura 18, lo que lo convierte en uno de los productos de higiene personal más relevantes para los usuarios y, por ende, para la composición de las AGC. Debido a estas conclusiones, sería importante realizar una investigación enfocada en este producto en particular. Por otro lado, los resultados de DQO y DBO<sub>5</sub> se encuentran por encima de lo normalmente registrado en la literatura para AGC, con unos valores  $769.5 \pm 11.9$  [mg/L] y  $342.1$  [mg/L], respectivamente, mientras que en la literatura los resultados oscilan entre  $328 \pm 11.9 - 690$  [mg/L] para DQO (Abedin & Rakib, 2013)(Morandi et al., 2021) y  $111.9 \pm 73.84 - 366.7$  [mg/L] para DBO<sub>5</sub> (Raček, 2020)(Abedin & Rakib, 2013)(Bodnar et al., 2014) (Tabla 6); la mayoría de estas investigaciones representan un conjunto de viviendas como muestra de estudio.

En la inspección de ingredientes se pudo observar que los productos de higiene personal estudiados tienen una alta concentración de compuestos orgánicos, cuyo porcentaje se muestra en la Tabla 8.

En consecuencia, el producto de higiene personal más incidente en el aumento de niveles de DQO y DBO<sub>5</sub> son los champús y acondicionadores de cabello. Estos productos son usados por el 98% y 70% de los encuestados respectivamente. Alguno de los ingredientes de altas proporciones que afectan este parámetro están asociados con alcoholes grasos como el alcohol cetearílico, cetílico y estearílicos, usados como emolientes y para aumentar la viscosidad del producto (Oteng-Peprah, Acheampong, et al., 2018).

**Tabla 8**

*Porcentaje de ingredientes de origen orgánico de los productos de higiene personal*

Tipo de producto	%Ingredientes de origen orgánico	
	Vivienda de estudio	Encuesta
Jabón corporal	64%	64%
	45%	-
Jabón facial	62%	-
Jabón de manos	62%	63%
	73%	
Crema corporal	67%	67%
	69%	65%
Cremas faciales/ bloqueadores	67%	-
	56%	-
Champú	81%	81%
	54%	-
Acondicionador	67%	65%
	88%	
Crema para peinar	72%	72%
Crema dental	27%	27%
	29%	-
Enjuague bucal	67%	67%
Crema de afeitar	-	64%
Desodorante	0%	52%

Otro ingrediente muy repetido en los productos de higiene personal de origen orgánico que afecta el nivel de DQO y DBO<sub>5</sub> en las AGC es la glicerina, la cual está presente en el 67% de los productos de higiene personal (8) estudiados en esta investigación (jabón corporal, jabón facial, jabón de manos, crema dental, champú, crema corporal, crema facial y crema para peinar). La glicerina es producida a partir de aceites vegetales como el aceite de colza, girasol o de palma; es muy utilizada en los productos de higiene personal por sus propiedades humectantes y protectoras en la piel (Nivea, n.d.).

Por otro lado, en 6 tipos de productos de higiene personal (champú, acondicionador, crema corporal, crema facial y crema para peinar) se presenta el linalool, presente en más de 200 tipos de plantas, es utilizado en este tipo de productos por su agradable fragancia (Bueno-Duarte & Mendez-Sanchez, 2015). Finalmente, en 5 de los productos de higiene personal estudiados (jabón corporal, acondicionador, crema corporal, cremas faciales y crema para peinar) está presente el citronelol, el cual, al igual que el linalool, es utilizado por su fragancia.

Aunque en esta investigación se evidenció la tendencia de una marca específica de champú y acondicionador con concentraciones más altas de materia orgánica, se recomienda realizar estudios más profundos en los cuales se pueda concluir si existe alguna manera de evidenciar qué marca de cada uno de los productos de higiene personal afectan más los niveles de estos parámetros en el agua.

Teniendo en cuenta que uno de los factores que afectan la calidad de las AGC es el sexo (Sultana et al., 2022), se estableció una relación entre este factor y la frecuencia de uso de productos de higiene personal, concluyéndose que, en promedio, las mujeres utilizan ocho de cada diez productos, mientras que los hombres utilizan siete de cada diez. Este resultado confirma

hallazgos previos en otros estudios (Sultana et al., 2022), que indican que las mujeres usan mayor cantidad de productos de higiene personal, específicamente jabón.

En cuanto al uso del champú y acondicionador, que son los productos de higiene personal que más contribuyen a los niveles de DQO y DBO<sub>5</sub>, se determinó que el 100 y 92% de las mujeres los utilizan, respectivamente, mientras que solo el 76 y 54% de los hombres los utilizan. Debido a esto se puede inferir que en las viviendas donde predomine este sexo (no es el caso de la vivienda de estudio), los índices de estos parámetros fisicoquímicos, incluyendo la turbidez y SST que también se ven afectados por estos productos, tendrán niveles más elevados, pudiendo requerir un tratamiento mayor para un reúso de AGC. Se recomienda realizar estudios más profundos donde esta suposición se compruebe.

Por otra parte, los valores de calidad expuestos en la Tabla 6 se compararon con cuatro normativas internacionales para el reúso de AG (Chile, Portugal, Italia y Canadá), cuyos parámetros de calidad se encuentran en la Tabla 10. En el caso de Chile, Portugal e Italia, los parámetros mostrados son de las AG ser reusadas en diferentes campos; caso contrario para Canadá, cuyos parámetros hacen referencia a las AGC para poder ser reusadas en inodoros y urinarios.

Relacionando estos requerimientos, solo el pH cumple con los valores establecidos según Italia y Canadá, mientras que los otros parámetros no cumplen con los requisitos para poder reusar las AG. Es necesario realizar un tratamiento de las AGC, en el marco de este estudio, si el objetivo es el reúso de ellas. Se podrían seleccionar métodos como trenes de tratamiento o tecnologías específicas; el más utilizado según la literatura es la tecnología de Reactores Biológicos de Membrana (MBR), seguido de estudios relacionados con los humedales artificiales (Álvarez et al., 2020).

## 5. Conclusiones

Se caracterizaron los hábitos del uso del agua como la frecuencia con que las personas realizan algunas actividades. Se registró que el 49% de las personas realizan actividades de limpieza de duchas y lavamanos semanalmente, el 51% se baña 2 veces al día (el porcentaje restante lo hace 1 sola vez) y el 48% de las personas se cepillan los dientes 3 veces al día. Adicionalmente la mayoría de las personas se lavan las manos 5 veces al día (16%), descargan el inodoro 4 veces al día (33%) y se afeitan o depilan semanalmente (37%).

Por otra parte, se estimó la producción y calidad de las AGC de la vivienda de estudio; de allí, se obtuvo que el consumo per cápita promedio de agua potable fue de  $166 \pm 59$  [L/hab/día], el consumo promedio de AGC fue de  $115 \pm 33$  [L/día], con un aporte del  $21.5 \pm 0.06\%$  respecto a las ARD, teniendo un consumo promedio per cápita de AGC de  $33 \pm 7$  [L/hab/día], el cual se dividió en duchas y lavamanos en  $32 \pm 7$  [L/hab/día] y  $1.68 \pm 0.22$  [L/hab/día], respectivamente. Respecto a la calidad, se obtuvieron los valores de los parámetros fisicoquímicos estudiados: pH  $7.5 \pm 0.05$ , turbidez  $223.9 \pm 8.02$  [NTU], SST  $185.8$  [mg/L], DQO  $769.5 \pm 11.9$  [mg/L] y DBO<sub>5</sub>  $342.1$  [mg/L].

Finalmente, se concluyó la relación de los hábitos del uso del agua con la producción y calidad de las AGC, determinando que la frecuencia con que las personas se bañan afecta en la producción de las AGC teniendo en cuenta que más de la mitad de las personas encuestadas se bañan 2 veces al día (51%), estimando un aporte de  $32$  [L/hab/día] por cada ducha con un 20% respecto a las ARD. De igual manera la frecuencia del uso del lavamanos, si bien su aporte de AGC respecto a las ARD es mucho menor (1.12%), existen personas que realizan esta actividad

20 veces al día, estimando un volumen de  $1.68 \pm 0.22$  [L/hab/día] por cada 2.25 veces, esta frecuencia aumentaría razonablemente la producción de AGC.

En cuanto a la calidad del agua, la alteración de los parámetros de turbidez ( $223.9 \pm 8.02$  [NTU]) y SST ( $185.8$  [mg/L]) pudo ser causada por residuos de materia orgánica y por los ingredientes de productos de higiene personal como el champú y el jabón, ya que contenían aceites e intensificadores de espuma. El pH tuvo una tendencia levemente alcalina ( $7.5 \pm 0.05$ ) debido a la presencia de sodio en el jabón corporal. Finalmente, los niveles de DQO y DBO<sub>5</sub>,  $769.5 \pm 11.9$  y  $342.1$  [mg/L], respectivamente, se vio afectada por la cantidad de ingredientes de origen orgánico que tienen los productos de higiene personal, como alcoholes grasos como el cetearílico, cetílico y estearílico.

## 6. Recomendaciones

Para las futuras investigaciones, se recomienda estudiar mayor número de viviendas y parámetros fisicoquímicos que permitan relacionar si existen más hábitos que ocasionen alteración en la calidad de las AGC. De igual forma, se recomienda realizar el estudio en distintas estaciones climáticas del año y en días festivos y/o tiempos de vacaciones, con el fin de analizar la variabilidad respecto a la producción de las AGC en cada una de ellas. Adicionalmente, se recomienda tener en cuenta el tipo de duchas e inodoros que se tienen en cada hogar, pues la incidencia de tener duchas y/o inodoros convencionales aumenta el consumo de ARD (Rivera-Pérez et al., 2020).

## Referencias



- Abedin, S. B., & Rakib, Z. Bin. (2013). Generation and Quality Analysis of Greywater at Dhaka City. *Environmental Research, Engineering and Management*, 64(2), 29–41.  
<https://doi.org/10.5755/j01.arem.64.2.3992>
- Al-Jasser, A. O. (2011). Greywater reuse in Saudi Arabia: Current situation and future potential. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 153, 159–169.  
<https://doi.org/10.2495/WS110151>
- Al-Mughalles, M. H., Rahman, R. A., Suja', F. B., Mahmud, M., & Jalil, N. A. (2012). Household greywater quantity and quality in Sana'a, Yemen. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17 H(November), 1025–1034.
- Álvarez, J., Bonilla, B., Oviedo, E., & Rey, D. (2020). *Propuesta de opciones tecnológicas para el tratamiento y reúso de aguas grises provenientes de ducha y lavamanos en una vivienda unifamiliar del área metropolitana de Bucaramanga AMb*. 124.
- Antonopoulou, G., Kirkou, A., & Stasinakis, A. S. (2013). Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *Science of the Total Environment*, 454–455, 426–432.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.045>
- Arias, J. P. B. (n.d.). *Evaluación de sistemas de tratamiento y reúso de aguas grises claras, aplicables a un sector residencial del Área Metropolitana de Bucaramanga, caso de estudio: Barrio La Victoria*.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2019). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 9–25.
- Biswas, S. K., Rahman, M. M., Rahman, M. Y. A., & Rahman, M. M. (2012). Applicability of domestic grey water reuse for alleviation of water crisis in Dhaka city. *Journal of Water Reuse*

*and Desalination*, 2(4), 239–246. <https://doi.org/10.2166/wrd.2012.077>

- Bodnar, I., Szabolcsik, A., Baranyai, E., Uveges, A., & Boros, N. (2014). Qualitative characterization of household greywater in the northern great plain region of Hungary. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(11), 2717–2724. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.302>
- Bueno-Duarte, Y., & Mendez-Sanchez, S. C. (2015). Efecto Del Linalool Sobre La Bioenergética De Mitocondrias De Hígado De Rata. *Linalool Effect on Mitochondrial Bioenergetics Rat Liver.*, 22(1), 33–41. [10.17533/udea.vitae.v22n1a04%5Cnhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=109147875&lang=es&site=ehost-live](http://10.17533/udea.vitae.v22n1a04%5Cnhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=109147875&lang=es&site=ehost-live)
- Chrispim, M. C., & Nolasco, M. A. (2017). Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.162>
- Craig, M., & Richman, R. (2018). Towards development of a standard methodology for testing field performance of residential greywater reuse systems: Case study of a greywater reuse system installed in 22 homes in southern ontario (canada). *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(2), 135–152. <https://doi.org/10.2166/wrd.2017.020>
- De, O., Diplomática, I., & País, F. (2023). *Catar Estado de Catar*.
- Department, N.-H. (2010). *Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia 2010*.
- García-garcía, J. A., Reding-bernal, A., & López-alvarenga, J. C. (2013). *Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica*. 2(8), 217–224.
- García, C. D. M., Gomez, C. J. N., & Cortez, A. V. (2022). Drinking water consumption habits during intermittent service in Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, Mexico. *Water*

*Practice and Technology*, 17(10), 1992–2004. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.123>

Ghunmi, L. A., Zeeman, G., Van Lier, J., & Fayyed, M. (2008). Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: The case of Jordan. *Water Science and Technology*, 58(7), 1385–1396. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.444>

Giresunlu, E., & Baykal, B. B. (2016). A case study of the conversion of grey water to a flush water source in a Turkish student residence hall. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(6), 1659–1667. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.078>

IDEAM. (2018). Reporte del avance del Estudio Nacional del Agua 2018. *Cartilla ENA 2018*, 56.

IDEAM. (2023). Estudio nacional del agua. In *Ministerio de Medio Ambiente*.

Kadewa, W. W., Knops, G., Pidou, M., Jeffrey, P., Jefferson, B., & Le Corre, K. S. (2020). What is the impact of personal care products selection on greywater characteristics and reuse? *Science of the Total Environment*, 749, 141413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141413>

Kant, S., Jaber, F. H., & Karthikeyan, R. (2018). Evaluation of a portable in-house greywater treatment system for potential water-reuse in urban areas. *Urban Water Journal*, 15(4), 309–315. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1457165>

Lambert, L. A., & Lee, J. (2018). Nudging greywater acceptability in a Muslim country: Comparisons of different greywater reuse framings in Qatar. *Environmental Science and Policy*, 89, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.07.015>

Madungwe, E., & Sakuringwa, S. (2007). Greywater reuse: A strategy for water demand management in Harare? *Physics and Chemistry of the Earth*, 32(15–18), 1231–1236. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.07.015>

- Mandal, D., Labhasetwar, P., Dhone, S., Dubey, A. S., Shinde, G., & Wate, S. (2011). Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 356–361. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.001>
- March, H., Hernández, M., & Saurí, D. (2015). Assessing domestic water use habits for more effective water awareness campaigns during drought periods: A case study in Alicante, eastern Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(5), 963–972. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-963-2015>
- Resolución 0330, 182 (2017).
- Morandi, C., Schreiner, G., Moosmann, P., & Steinmetz, H. (2021). Elevated vertical-flow constructed wetlands for light greywater treatment. *Water (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/w13182510>
- Murray, R. Spiegel; Larry, J. S. (2009). *Estadística Schaum*.
- Nivea. (n.d.). *¿Qué es la glicerina, para qué sirve y por qué es buena para la piel?* Retrieved April 1, 2023, from <https://www.nivea.es/consejos/piel-bonita/que-es-la-glicerina#:~:text=La glicerina es un compuesto,de origen animal o vegetal>.
- ONU. (2015). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Organización de Las Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8>
- Oteng-Peprah, M., de Vries, N. K., & Acheampong, M. A. (2018). Greywater characterization and

- generation rates in a peri urban municipality of a developing country. *Journal of Environmental Management*, 206, 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.068>
- Raček, J. (2020). Gray Water Reuse in Urban Areas. In *Springer Water*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18359-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18359-2_8)
- Rivera-Pérez, Z. E., Cárdenas-González, M. J., & Rey-Romero, D. C. (2020). Estimate and Water Consumption Habits for Domestic Purposes in a Residential Area of San Cristóbal, Venezuela. *Revista Luna Azul*, 51(51), 95–120. <https://doi.org/10.17151/luaz.2020.51.6>
- Shamabadi, N., Bakhtiari, H., Kochakian, N., & Farahani, M. (2015). The Investigation and Designing of an Onsite Grey Water Treatment Systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN. *Energy Procedia*, 74, 1337–1346. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.780>
- Sultana, R., Nahar, N., Luby, S. P., Swarna, S. T., Gurley, E. S., Tamason, C. C., Khan, S., Rimi, N. A., Kabir, H., Saifullah, M. K., Howlader, S. R., & Jensen, P. K. M. (2022). Measuring Water Quantity Used for Personal and Domestic Hygiene and Determinants of Water Use in a Low-Income Urban Community. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23). <https://doi.org/10.3390/ijerph192315656>
- Wallin, J., Knutsson, J., & Karpouzoglou, T. (2021). A multi-criteria analysis of building level graywater reuse for personal hygiene. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200054>
- Zadeh, S. M., Hunt, D. V. L., Rachel Lombardi, D., & Rogers, C. D. F. (2014). Carbon costing for mixed-use greywater recycling systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 167(8), 467–481. <https://doi.org/10.1680/wama.12.00093>

## Apéndices

**Apéndice A.** Revisión bibliográfica

Con el fin de adquirir conocimiento acerca de los hábitos del uso del agua de los usuarios que inciden en la calidad y producción de las AGC en viviendas, comunidades y zonas residenciales, se realizó una búsqueda de artículos de investigación en la base de datos Scopus por medio de 10 ecuaciones de búsqueda, compuestas por palabras clave relacionadas con el tema de esta investigación. En la Tabla 9 se presenta cada una de las ecuaciones utilizadas y la cantidad de resultados para cada una de ellas.

**Tabla 9**

*Porcentaje de ingredientes de origen orgánico de los productos de higiene personal*

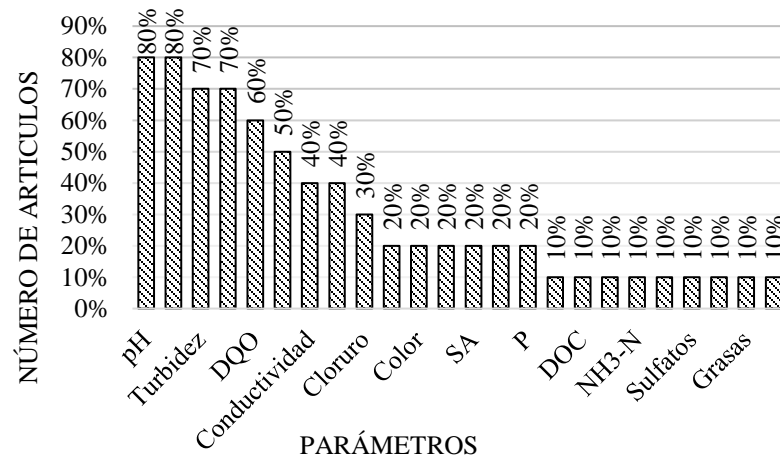
<b>N° ecuación</b>	<b>Ecuación</b>	<b>N° artículos encontrados</b>
1	("light greywater" OR "greywater" OR "graywater") AND "wastewater" AND "treatment" AND ("handwash" OR "bathroom" OR "baths" OR "shower")	74
2	("light grey water" OR "greywater" OR "graywater") AND ("apartment" OR "house") AND "quality"	45
3	("light grey water" OR "greywater" OR "graywater") AND "wastewater" AND ("house" OR "apartment") AND "water reuse"	14
4	("light grey water" OR "greywater" OR "graywater") AND ("apartment" OR "house") AND "quality" AND "water use"	12
5	("light greywater" OR "greywater" OR "graywater") AND "wastewater" AND "treatment" AND "quality" AND ("handwash" OR "bathroom" OR "baths")	10
6	("light grey water" OR "greywater" OR "graywater") AND "domestic" AND ("house" OR "apartment") AND "technologies"	3

7	"light grey water" OR "greywater" OR "graywater" AND "apartment" OR "house" AND "characterization"	3
8	("light grey water" OR "greywater" OR "graywater") AND ("apartment" OR "house" OR "domestic") AND ("quality" OR OR "characteristics" OR "characterization") AND "personal hygiene" AND ("production" OR "generation")	1
9	("light grey water" OR "greywater") AND "personal care products" AND "water reuse" AND ("quality" OR "characterization")	2
10	("light grey water" OR "greywater") AND "personal care products" AND "physico-chemical characterization"	1

Los artículos encontrados a partir de la búsqueda anterior fueron filtrados, con ayuda de Excel, según su título, resumen y contenido, con el fin de depurar la información no relacionada con el tema de estudio y lograr consolidar una base de datos con los artículos incidentes en cada uno de los objetivos de esta investigación. Esta depuración dejó 18 artículos en total, los cuales fueron usados para soportar la presente investigación.

#### **Apéndice B.** Elección de parámetros fisicoquímicos.

Con el fin de conocer cuáles eran las características fisicoquímicas del AGC más estudiadas en los últimos años, se realizó una búsqueda en 10 artículos científicos recientes (rango de 10 años) (Giresunlu & Baykal, 2016)(Wallin et al., 2021)(Al-Jasser, 2011)(Raček, 2020)(Bodnar et al., 2014)(Chrispim & Nolasco, 2017)(Oteng-Peprah, de Vries, et al., 2018) (Shamabadi et al., 2015)(Antonopoulou et al., 2013)(Kant et al., 2018). A partir de esta revisión se realizó la Figura 19, en la que se observa que los parámetros más estudiados son pH (80%), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5, 80%), turbidez (70%), sólidos suspendidos totales (SST, 70%), demanda química de oxígeno (DQO, 60%) y sólidos disueltos totales (SDT, 50%).

**Figura 19***Porcentaje de estudio de parámetros fisicoquímicos***Apéndice C.** Limpieza de vidriería de laboratorio.

Antes de realizar cualquier procedimiento, fue necesario realizar una limpieza a toda la vidriería empleada en cada uno de los métodos a desarrollar, con el fin de dejar los elementos a emplear en cada uno de los procedimientos libres de cualquier reactivo y/o contaminación que pueda afectar los análisis posteriores. La limpieza inició con sumergir cada uno de los elementos a lavar en una solución de jabón neutro durante 30 a 60 minutos y, posterior a esto, frotarlos vigorosamente cada uno de ellos con un churrusco de laboratorio destinado para dicho fin y enjuagar con abundante agua del grifo. El material lavado anteriormente se sumerge en una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 5% de concentración durante máximo 30 minutos, finalmente, los elementos se dejaron escurrir en gradillas hasta estar completamente secos. Es indispensable, durante todo el procedimiento de lavado, portar todos los elementos de protección como la bata, los guantes de nitrilo y el tapabocas; el  $H_2SO_4$  es de alto riesgo y al contacto con la piel puede ocasionar quemaduras graves, dependiendo del tiempo y zona de contacto.

**Apéndice D.** Análisis de DQO



Para el análisis de DQO se siguió el método estándar SM5220D y, debido a la complejidad y demora del método seleccionado, se optó por una preservación de muestras, la cual se realizó en orientación de los métodos estándar. Este procedimiento se realizó con el fin de realizarlo una sola vez cada semana, sin dejar pasar 6 días después de la preservación, y de mantener un pH ácido en las muestras de AGC. Se añadieron 2 ml de ácido sulfúrico a una botella que contenía 1 L de AGC y, posteriormente, fue refrigerada hasta el día del análisis. Este proceso se realizó todos los días durante la jornada de análisis de laboratorio para cada una de las botellas de AGC recolectadas de la vivienda de estudio.

Con el fin de realizar la curva de DQO fue necesario realizar tres preparaciones distintas: solución digestora, reactivo de ácido sulfúrico y solución patrón de hidrogenoftalato de potasio (KHP). El procedimiento de cada una de ellas se explica a continuación. Para la solución digestora se agregaron 10,216 g de Dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), previamente seco a  $150^\circ C$  durante 2 h, a 500 ml de agua destilada. A esta mezcla se añadieron 167 ml de  $H_2SO_4$  y 33,3 g de sulfato de mercurio ( $HgSO_4$ ).

Al tener preparada la solución digestora, se realizó el procedimiento para obtener el reactivo de ácido sulfúrico, añadiendo Sulfato de Plata ( $Ag_2SO_4$ ) en  $H_2SO_4$ . La proporción que se cumplió es de 2.03 g de  $Ag_2SO_4$  para 200 ml de  $H_2SO_4$ . Esta solución debe permanecer en reposo de 1 a 22 días para poder disolver y mezclar. Finalmente, se preparó la solución patrón de KHP. Para esto, se trituró el KHP y fue secado a  $120^\circ C$  durante 2 horas. Finalizado el tiempo, se pesaron 425 mg de KHP y se diluyeron en 500 ml de agua destilada. La solución patrón fue vertida en cinco balones volumétricos en cinco concentraciones diferentes, completando el volumen requerido con agua destilada y siendo refrigeradas al finalizar la preparación para lograr una

estabilidad de hasta por 3 meses. Las concentraciones de KHP y agua destilada se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Concentraciones para la solución patrón*

No. de solución	KHP [ml]	Agua destilada [ml]
Blanco	0	50
1	5	45
2	10	40
3	15	35
4	20	30
5	25	25

Una vez preparadas las tres soluciones anteriormente explicadas, se encendió el termo reactor de marca Hach, referencia DRB200, en el programa de 150°C con un tiempo de 2 horas y se esperó a que llegara a la temperatura indicada; durante este tiempo, se prepararon los viales que fueron analizados en el termo reactor, teniendo en cuenta que se hizo por triplicado para cada una de las soluciones patrón y, además, el blanco. Posteriormente de estar cada uno de los viales ubicados en gradillas, se agregaron 2,5 ml de la solución patrón correspondiente (para el caso del blanco, 2,5 ml de agua destilada), teniendo en cuenta de hacer un lavado con agua destilada a la pipeta en uso cada vez que se realice el cambio de solución patrón. Con la solución patrón en cada uno de los viales, se agregó 1,5 ml de solución digestora y, finalmente, 3,5 ml del reactivo de ácido sulfúrico.

Con los viales listos y el termo reactor en la temperatura deseada, se introdujeron los 16 viales, en este caso, en el termo reactor. Al concluir las 2 horas, se sacaron los viales y se dejaron

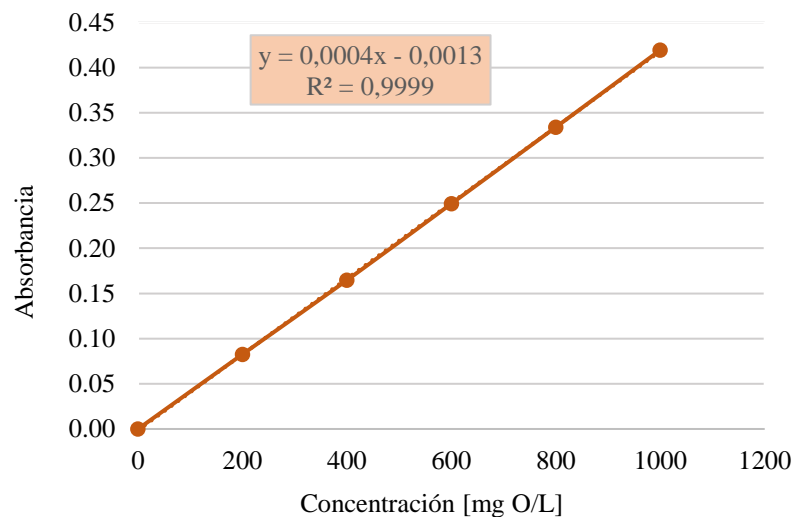
enfriar a temperatura ambiente en las gradillas, evitando el contacto con cualquier tipo de luz. Para finalizar, se mezclaron los viales para homogeneizar la solución y se leyó la absorción de cada muestra en un espectrofotómetro de marca Hach, referencia DR1900, utilizando el blanco como referencia. Para la curva de DQO se graficó la concentración [mg O/L] (eje x) y el promedio de la absorbancia obtenida (eje y) para así obtener la ecuación de la forma  $y = mx + b$ . La ecuación obtenida fue:

$$y = 0.0004x - 0.0013$$

$$R^2 = 0.9999$$

### Figura 20

#### Curva de DQO



Una vez obtenida la curva de DQO, se realizó el mismo proceso, pero sustituyendo la muestra patrón con las muestras preservadas de AGC, verificando su pH para corroborar que cada muestra estaba en condiciones ideales para ser analizada. Finalmente, para hallar el valor de DQO se despeja “x” de la ecuación, ya que el espectrofotómetro nos arroja las absorbancias (“y”).

#### Apéndice E. Análisis de turbidez

Para medir la turbidez, se siguió el método nefelométrico, el método estándar SM2130B. Se utilizó un turbidímetro HACH 2100Q, el cual fue calibrado al inicio de la jornada con el kit de calibración estándar proporcionado por el fabricante, compuesto por cuatro botellas de 500 ml, con solución estándar primaria de formazina estabilizada de 10 NTU, 20 NTU, 100 NTU y 800 NTU.

Una vez calibrado el turbidímetro, se mezcló la muestra de AGC con el fin de tener una muestra homogénea; posteriormente, se vertió, por triplicado, en celdas de vidrio. Se cerraron las celdas de vidrio, procurando no tocar la superficie en la cual el rayo de luz penetra y se limpió con un paño kleenex, toda la superficie, eliminando cualquier suciedad, huella o marca que afectara la medición de turbidez. Con el turbidímetro encendido, se colocó, una a una, las celdas dentro del mismo, donde se conoció la lectura de turbidez en NTU de cada una de las celdas.

#### **Apéndice F.** Análisis de pH

Para medir el pH de las muestras se utilizó un pHmetro de la marca Mettler Toledo, referencia SevenCompact. Este equipo fue calibrado al inicio de la jornada con soluciones de pH establecidos por el laboratorio del GPH. Al igual que la turbidez, se realizaron 3 tomas de pH para cada muestra de AGC. Previamente a la toma de pH, se mezcló la muestra de AGC para homogeneizarla, vertiéndola posteriormente en tres vasos de precipitado del laboratorio. Se hizo un lavado de la sonda con agua destilada y, con un paño, se retiró todo el exceso de agua para evitar la alteración de resultados. Se ingresó la sonda en uno de los vasos de precipitado, revolviendo nuevamente el agua para evitar la sedimentación en la misma y se registró el valor arrojado por el equipo multiparámetro en unidades de pH. Se realizó el mismo procedimiento para las otras dos muestras del agua, haciendo el lavado de la sonda y la limpieza anteriormente descrita antes y después de cada lectura.