

# HUELLA HIDRICA

de los usuarios de agua en Lima Metropolitana



aquafondo  
INVERSIÓN EN AGUA PARA LIMA

©HUELLA HÍDRICA DE LOS USUARIOS DE AGUA DE LIMA METROPOLITANA  
Esta publicación ha sido posible gracias a la contribución de:

Cooperación Alemana para el Desarrollo – GIZ

En el marco del “Proyecto de adaptación de la gestión de los recursos hídricos en zonas urbanas al cambio climático con la participación del sector privado” – PROACC.

Elaboración:

**AQUAFONDO**

**Cooperación Alemana para el Desarrollo – GIZ**

**A2G Climate Partner**

Agradecimientos:

**Autoridad Nacional del Agua - ANA**

**Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL**

Diseño y diagramación:

Jesús Daves Sánchez Barrueto

María Carla Moncada Mejía

Fotografías:

© AQUAFONDO

© Cooperación Alemana para el Desarrollo – GIZ

© Walter H. Wust/TNC

© Evelyn Merino Reyna

1a edición, mayo 2018

Editado por:

AQUAFONDO

Av. Cristóbal de Peralta Sur 1553, Santiago de Surco.

# aquafondo

INVERSIÓN EN AGUA PARA LIMA





## RESUMEN EJECUTIVO

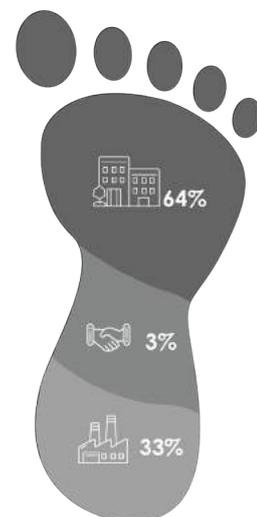
Lima Metropolitana presenta grandes retos para garantizar la cobertura de la demanda del recurso hídrico. Las características geográficas de la ciudad, debido a su localización en una zona árida y el nivel de estrés hídrico característico de la región, son algunos de los problemas que ponen en riesgo el suministro del agua en términos de cantidad y calidad. El agua que utiliza la ciudad de Lima proviene de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, siendo el río Rímac el principal proveedor de agua y, al mismo tiempo, la cuenca más deteriorada en términos ambientales. Desde hace varios años, las aguas naturales de estas fuentes no satisfacen las necesidades de la ciudad por lo que se utiliza adicionalmente el trasvase de aguas de la cuenca del río Mantaro.

Para conocer la demanda de agua de los usuarios de Lima Metropolitana, y así poder establecer estrategias para planificación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, se realizó el cálculo de la **Huella Hídrica directa de los usuarios de Lima Metropolitana**. Para ello se utilizó la metodología del Water Footprint Network con datos del año 2016. El dominio del estudio abarca Lima Metropolitana desde el inicio de la red de distribución de agua hasta el punto de descarga de las aguas residuales al cuerpo de agua receptor (el mar).

Los resultados mostraron que la **Huella Hídrica Azul directa (HH Azul)** total de todos los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 fue de 638 MMC. Esto quiere decir que 638 MMC fueron extraídos de la cuenca y consumidos por el sector residencial, comercial, industrial, agricultura y público y, por lo tanto, no estuvieron disponibles para el aprovechamiento de otros usuarios. En general, el sector residencial fue el principal usuario y consumidor de agua en la ciudad con un 54%, seguido del sector comercial e industrial con 15% cada uno, sector agricultura con 9% y finalmente el sector público con 7%. Una particularidad de Lima es que un alto porcentaje de sus aguas residuales es vertido al mar (72%), en lugar de regresar al sistema luego de un tratamiento adecuado y, al no ser recuperable, se debe de considerar como parte de la HH Azul. Esto influyó significativamente en los resultados (>80% de la HH Azul total). Este resultado corrobora el alto potencial que existe para la reducción de la HH Azul de Lima con medidas de tratamiento y reutilización de aguas servidas.

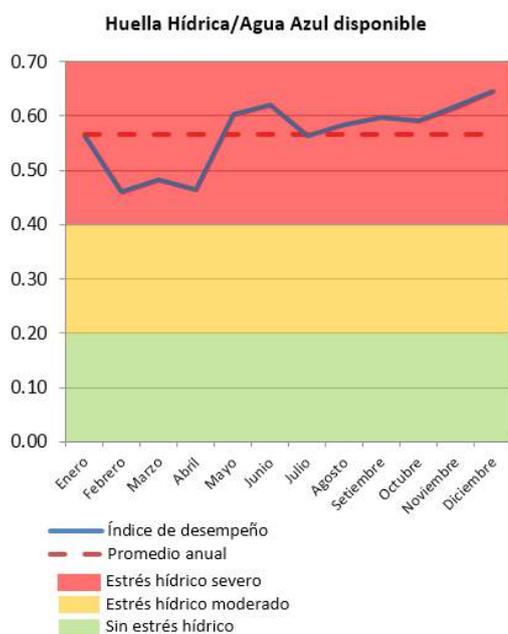


La **Huella Hídrica Gris directa (HH Gris)** total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 fue de 1 768 MMC que es más del doble del volumen de agua que trae el río Rímac al año y que sería necesario para diluir los contaminantes a un nivel aceptable. El 97% de esta HH Gris se debe al sector residencial e industrial. En el sector residencial, el principal factor es el alto volumen de efluentes generados en los hogares. En el sector industrial, el resultado se ve influenciado por la calidad en que el agua es devuelta al sistema (río), especialmente por aquellos vertimientos ilegales. Es importante mencionar que este indicador podría estar subestimado de manera considerable, ya que el estudio no ha podido considerar las diferentes calidades de agua según subsector industrial por falta de datos. Por otro lado, existe un inventario incompleto de vertimientos ilegales con su respectiva medición de caudal y análisis de calidad.



Finalmente, se evaluó la sostenibilidad de la Huella Hídrica Azul Directa para Lima Metropolitana. Para evaluar la sostenibilidad ambiental, se utilizó la metodología Water Accounting Plus (Karimi et al, 2013) que compara la HH Azul con la disponibilidad de agua azul en el ámbito y año de estudio (2016). Este indicador refleja el agotamiento del recurso agua o estrés hídrico. Los resultados mostraron que un promedio anual de 57% del agua azul disponible para la ciudad se agota de una forma irrecuperable a través de evaporación, evapotranspiración, incorporación en productos o descarga al océano luego del uso. Los resultados mostraron que la ciudad se encuentra en una situación de estrés hídrico severo durante todo el año. Por lo tanto, la HH Azul directa no es sostenible en ningún mes del año.

**Indicador de estrés hídrico – Huella Hídrica Azul/Agua Azul disponible**



La evaluación de la sostenibilidad social del uso de agua en Lima Metropolitana, comparando la HH Azul residencial per cápita entre los diferentes distritos, reveló un uso altamente inequitativo del agua potable. Por otro lado, el análisis ayudó a identificar los distritos con más potencial para reducir la HH Azul. Parece relevante destacar, que el promedio de la HH Azul residencial en Lima corresponde a un uso de agua per cápita comparable con el promedio de ciudades desarrolladas en países de la OCDE. Eso es porque el uso desproporcionadamente elevado de algunos distritos de Lima es "compensado" por las restricciones del abastecimiento con agua potable en los distritos menos consolidados.

Con todo lo expuesto se puede observar una situación actual y un escenario futuro desfavorable si la Huella Hídrica de Lima Metropolitana continúa creciendo. Debido a ello, las estrategias para el sector residencial deben orientarse a promover cambios en los hábitos de consumo de usuarios y lograr el uso eficiente y racional del agua, de esta manera reducir la HH Azul del sector. Del mismo modo, reduciendo la HH Azul residencial per cápita en los distritos que presentaron los valores más altos, se contribuye a que otros usuarios puedan contar más tiempo con este recurso. Se deben considerar, además, medidas que ayuden a regular el incremento del aporte a la HH Azul de Lima Metropolitana de los distritos con HH Azul per cápita pequeña y se encuentran por debajo del promedio distrital.

Por su parte, los sectores comercial e industrial reúnen a los actores con mayor capacidad de acción e inversión por lo que son un público objetivo estratégico en los procesos de sensibilización. En este sentido, se debe fomentar la implementación de opciones tecnológicas que permitan el uso más eficiente del agua, así como la mejora de la calidad de sus aguas residuales. Del mismo modo, se debe promover el reúso de aguas residuales tratadas (en actividades internas y externas) mediante proyectos que se formulen y ejecuten, por ejemplo, por mecanismos como las alianzas público privadas.

Finalmente, las municipalidades distritales presentan un gran potencial para reducir su Huella Azul. Según resultados de este estudio, las municipalidades de Lima Metropolitana utilizaron un total de aproximadamente 8 MMC de agua potable para el riego de áreas verdes. Estos volúmenes de agua pueden ser reemplazados por agua residual tratada haciendo uso de tecnología que podrían ser financiadas por iniciativas y asociaciones público privadas.

# TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción .....   | 6  |
| 2. Objetivo .....   | 7  |
| 3. Metodología .....  | 8  |
| 3.1 Base conceptual .....   | 8  |
| 3.2 Alcances del estudio .....  | 9  |
| 3.3 Datos utilizados .....  | 9  |
| 3.4 Limitaciones y supuestos del estudio .....                                      | 10 |
| 3.5 Metodología de cuantificación de la Huella Hídrica directa Azul - HH Azul ..... | 10 |
| 3.6 Metodología de cuantificación de la Huella Hídrica directa Gris - HH Gris ..... | 21 |
| 4. Resultados e interpretación de la Huella Hídrica .....                           | 25 |
| 4.1. Huella Hídrica Azul .....  | 25 |
| 4.2. Huella Hídrica Gris .....  | 37 |
| 5. Análisis de Sostenibilidad .....   | 46 |
| 6. Conclusiones .....   | 55 |
| 7. Recomendaciones .....  | 56 |
| 8. Bibliografía .....   | 57 |
| 9. Anexos .....   | 60 |

## Lista de Mapas:

|   |    |
|---|----|
| Mapa 1. Lima Metropolitana en relación a las cuencas Chillón, Rímac y Lurín.....                                      | 7  |
| Mapa 2. Huella Hídrica Azul Total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....                   | 27 |
| Mapa 3. Huella Hídrica Azul del sector residencial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....  | 29 |
| Mapa 4. Huella Hídrica Azul del sector comercial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....    | 31 |
| Mapa 5. Huella Hídrica Azul del sector industrial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....   | 33 |
| Mapa 6. Huella Hídrica Azul del sector público de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....                      | 35 |
| Mapa 7. Huella Hídrica Gris total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....                   | 39 |
| Mapa 8. Huella Hídrica Gris del sector residencial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....  | 41 |
| Mapa 9. Huella Hídrica Gris del sector comercial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....    | 43 |
| Mapa 10. Huella Hídrica Gris del sector industrial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC).....  | 45 |
| Mapa 11. Huella Hídrica Azul residencial per cápita de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)..... | 52 |

## Lista de Gráficos:

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1. Estructura de la Huella Hídrica según WFN .....  | 8  |
| Gráfico 2. Huella Hídrica Azul de los usuarios de Lima Metropolitana por sectores (%) .....               | 25 |
| Gráfico 3. Huella Hídrica Azul por distrito y por sector (MMC) .....                                      | 26 |
| Gráfico 4. Huella Hídrica Azul del sector Público de los distritos de Lima Metropolitana .....            | 34 |
| Gráfico 5. Huella Hídrica Gris de los usuarios de Lima Metropolitana por sectores (%) .....               | 37 |
| Gráfico 6. Huella Hídrica Gris por distrito y por sector (MMC) .....                                      | 38 |
| Gráfico 7. Contabilidad del Agua en el dominio de Lima Metropolitana (2016) .....                         | 47 |
| Gráfico 8. Indicador de estrés hídrico – Huella Hídrica Azul/Agua Azul disponible .....                   | 48 |
| Gráfico 9. Huella Hídrica Azul del sector residencial per cápita por distrito (m <sup>3</sup> /año) ..... | 50 |
| Gráfico 10. Brecha de la Huella Hídrica Azul residencial (MMC) .....                                      | 54 |

## Lista de Tablas:

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Alcances del estudio .....  | 9  |
| Tabla 2. Fuente de datos utilizados .....  | 9  |
| Tabla 3. Tasas de consumo de agua para subsectores industriales (Statistic Canada, 2012) ..... | 16 |
| Tabla 4. Eficiencia de riego según tecnología .....  | 18 |
| Tabla 5. Concentraciones utilizadas para el cálculo de la Huella Hídrica Gris .....            | 22 |



# 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios notorios en el clima en el Perú y el mundo, así como el incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos que son causa de desastres, como los ocurridos recientemente durante el Niño Costero, han agravado la situación del recurso acrecentando su escasez. Las regiones donde la disponibilidad hídrica es naturalmente baja o donde el agua ha sido contaminada y sobreexplotada, se caracterizan por un alto nivel de estrés hídrico, y es donde el desequilibrio entre la extracción y la disponibilidad anual del recurso hídrico en la cuenca se hace más notorio.

Lima es considerada la segunda ciudad más grande del mundo, en términos de población, que se encuentra asentada sobre un desierto. Esta realidad representa un gran reto para satisfacer la gran demanda de agua de su población, si consideramos la reducida disponibilidad del recurso respecto a las ciudades ubicadas en las cuencas de la vertiente del Atlántico y de del lago Titicaca.

Es este sentido, es una prioridad incorporar el enfoque de gestión integrada del recurso hídrico en las políticas y planes referidos al manejo del agua en las cuencas que abastecen a Lima Metropolitana, es decir, las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. En el logro de una mejor gestión integrada del agua todos juegan un rol importante, no sólo los gobiernos, sino también el sector privado (industrial y comercial), los consumidores y la sociedad civil.

La Huella Hídrica es un importante instrumento para la planificación de la gestión integrada de los recursos hídricos que permite la optimización del uso del recurso en el ámbito de su cuenca (ANA, 2014). Con el interés de contar con una primera aproximación a la dimensión actual de la Huella Hídrica directa de los usuarios de Lima Metropolitana, se realizó este estudio de cuantificación. Este documento fue desarrollado en el marco del Convenio de Cooperación suscrito entre AQUAFONDO, organización creada para movilizar recursos financieros destinados a la conservación, protección o restauración de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín y el *Proyecto de Adaptación de la Gestión de Recursos Hídrico en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado – ProACC*, implementado por la Cooperación Alemana–GIZ en colaboración con la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El propósito primordial de este estudio es servir de instrumento de sensibilización para el uso eficiente y racional del agua en el ámbito público, privado y de la sociedad civil, principalmente en el ámbito de Lima Metropolitana, con transcendencia a nivel nacional.



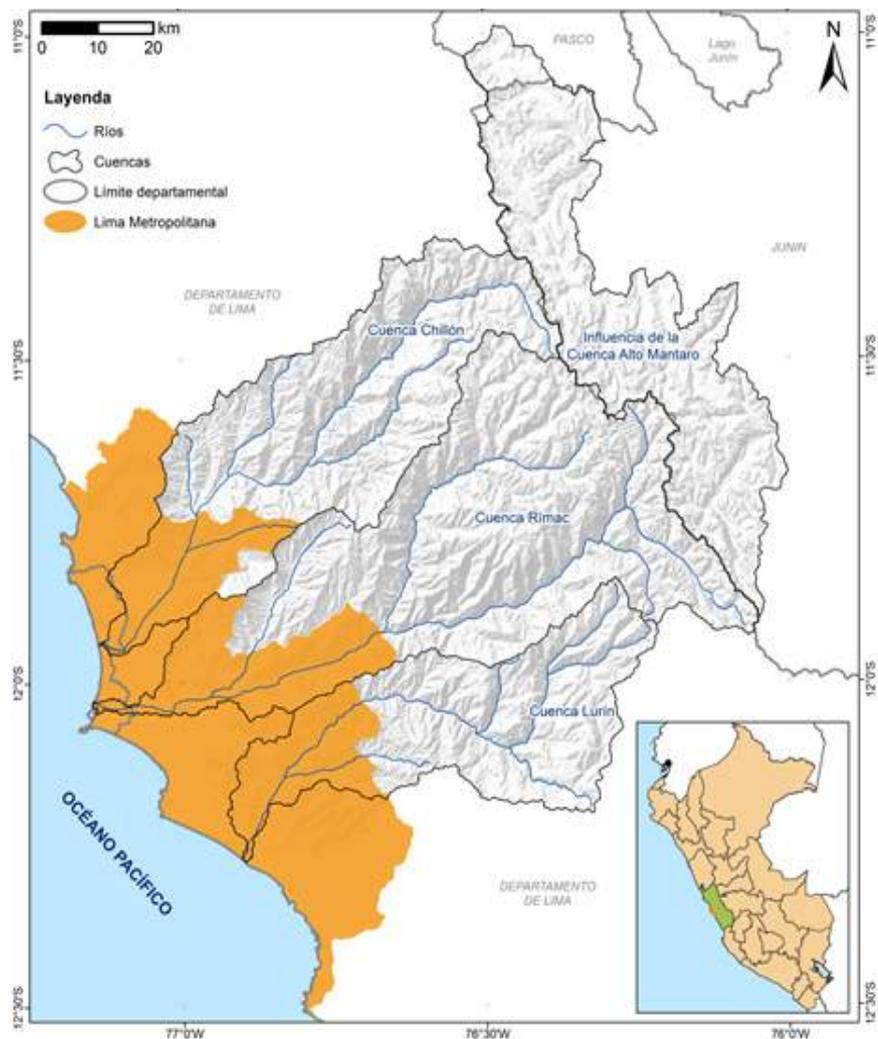
## 2. OBJETIVO

El objetivo del estudio se centró en la cuantificación de la Huella Hídrica Directa de los usuarios de agua de Lima Metropolitana y la evaluación de su sostenibilidad.

El enfoque se ha realizado sobre el valor de la Huella Hídrica Directa, considerando la Huella Hídrica directa Azul (HH Azul) y Huella Hídrica directa Gris (HH Gris), la cual fue calculada para el año 2016 (enero-diciembre). Se consultaron diferentes bases de datos del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (SEDAPAL) y de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Este estudio permitirá conocer el aporte de cada distrito de Lima Metropolitana a la HH Azul y HH Gris directa y evaluar su sostenibilidad respecto a la disponibilidad del agua azul, además del cumplimiento del principio de uso equitativo del recurso por parte de todos los habitantes de la cuenca.

**Mapa 1. Lima Metropolitana en relación a las cuencas Chillón Rímac y Lurín**



<sup>1</sup> El distrito de Santa María del Mar ha sido excluido ya que se abastece de fuentes externas. Los aportes del distrito Mi Perú están incorporados en el distrito de Ventanilla.



# 3. METODOLOGÍA

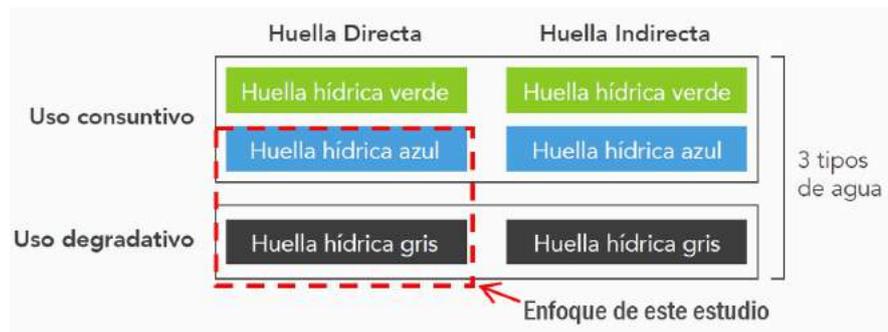
## 3.1 BASE CONCEPTUAL

La Huella Hídrica cuantifica la cantidad de agua requerida, directa o indirectamente, para producir un producto o para proveer un servicio. Fue conceptualizado por Arjen Hoekstra en el año 2002 y desde entonces es difundido por la organización *Water Footprint Network (WFN)*.

La Huella Hídrica según la WFN es un indicador multidimensional compuesto por variables que se definen de la siguiente manera:

- **La Huella Hídrica Verde:** cuantifica el agua de lluvia que se almacena en el suelo y es absorbido por la vegetación. Está sujeta a evaporación y evapotranspiración.
- **La Huella Hídrica Azul:** cuantifica el agua abastecida de fuentes superficiales (ríos, lagos, lagunas, etc.) y subterránea. Incluye la evaporación, la incorporación en productos, la extraída de un cuerpo de agua y devuelta a otro cuerpo o al mar, y aquellas extraídas y devueltas en otro período. Es todo el volumen de agua que es extraída de la cuenca y que por lo tanto ya no estará disponible para otros usuarios en la misma cuenca.
- **La Huella Hídrica Gris:** cuantifica el volumen de agua dulce que se requiere para diluir los contaminantes al nivel requerido (o mejor) que han sido establecidos por los estándares de calidad aplicable. Una HH Gris mayor que el flujo neto de un río implica que su capacidad natural de asimilación ha sido superada, lo que resulta en la degradación de su calidad del agua.

Gráfico 1. Estructura de la Huella Hídrica según WFN



Fuente: Adaptado de Hoekstra et al. (2011)

El Gráfico 1 muestra la conceptualización de la Huella Hídrica establecida en The Water Footprint Assessment Manual-Setting the global standard (Hoekstra et al., 2011). Según este documento la Huella Hídrica se genera por el uso consuntivo y degradativo del agua. El uso consuntivo implica que el agua (una vez usada) no es devuelta al medio de donde fue captada o no es devuelta de la misma manera en que fue extraída. Por otro lado, el uso degradativo se refiere al cambio de la composición química-física-microbiológica que reduce su calidad respecto a los estándares de referencia aplicables. El uso consuntivo está vinculado a la Huella Hídrica Verde y Huella Hídrica Azul, mientras que el uso degradativo, a la Huella Hídrica Gris. Asimismo, según el mismo documento, la Huella Hídrica también se

puede desglosar como Huella Hídrica Directa y Huella Hídrica Indirecta. Se considera como Huella Hídrica Directa al volumen de agua consumida y contaminada durante el proceso de fabricación de un producto o durante el manejo del recurso agua de forma directa, no relacionado con un insumo. La Huella Hídrica Indirecta es el volumen de agua incorporada o contaminada en la cadena de producción de un producto y en muchos casos se produce fuera del dominio considerado (cuenca). En el mismo gráfico, se resalta que el enfoque de este estudio es la Huella Hídrica directa Azul (HH Azul) y la Huella Hídrica directa Gris (HH Gris).

### 3.2 ALCANCES DEL ESTUDIO

La Tabla 1 describe los principales alcances del estudio.

Tabla 1. Alcances del estudio

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Alcance geográfico /geopolítico | Los resultados de la Huella Hídrica directa se reportan según la distribución política del área geográfica de Lima Metropolitana (distritos).   |
| Dominio                         | Desde los puntos de captación de agua hasta el punto de descarga de las aguas residuales en el cuerpo receptor.   |
| Alcance sectorial               | Se han considerado los sectores residencial, comercial, industrial, público y agrícola.   |
| Alcance temporal D              | datos mensuales del año 2016.   |
| Alcance metodológico            | Cuantificación de la Huella Hídrica directa Azul y la Huella Hídrica directa Gris según los lineamientos de la publicación “ <i>The Water Footprint Assessment Manual – Setting the global standard</i> ” (Hoekstra et al., 2011), presentada por la <i>Water Footprint Network (WFN)</i> . |

### 3.3 DATOS UTILIZADOS

Las principales fuentes de datos consultadas fueron los registros de SEDAPAL y la ANA. La Tabla 2 muestra los datos utilizados y su descripción.

Tabla 2. Fuente de datos utilizados

| DATOS  | DESCRIPCIÓN   | FUENTE         |
|--|---|----------------|
| Volumen de agua facturado  | Volúmenes de agua facturados mensualmente por distrito y CUA (Código de Uso de Agua). Incluyen agua superficial y subterránea distribuida por la red de SEDAPAL. No incluyen las fuentes propias (pozos). | SEDAPAL        |
| Volumen de agua subterránea utilizada                                | Volumen de agua actual extraído de pozos por distrito y sector  | ANA            |
| Volumen de agua superficial utilizado                                | Volumen de agua actual extraído de pozos por distrito y sector<br>Volumen de agua captado por las PTAP  | ANA<br>SEDAPAL |
| Volumen distribuido a personas sin conexión a la red de agua potable | Encuesta Nacional de Hogares 2015   |                |
| Volumen de agua tratada  | Volúmenes mensuales de agua tratada en cada una de las diferentes PTARs.  | SEDAPAL        |
| Parámetros de calidad de agua residual tratada                       | Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual tratada   | SEDAPAL        |
| Vertimientos de aguas residuales no tratadas                         | Caudales de descarga, continuidad de descarga (continua o intermitente), cuerno (río) receptor y localización de vertimientos de aguas residuales sin tratar y por tipo (residencial o industrial)        | ANA            |
| Extensión de áreas verdes privadas.                                  | Digitalizado por un equipo de SEDAPAL y del Observatorio de Agua del ANA  | SEDAPAL, ANA   |

### 3.4 LIMITACIONES Y SUPUESTOS DEL ESTUDIO

La principal limitación del estudio fue el déficit de datos sobre algunos parámetros. Los supuestos realizados para cubrir los vacíos de las bases de datos consultadas son descritos al detalle en el Anexo 1.

### 3.5 METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL - HH AZUL

Según Hoekstra et al. (2011) la metodología para la Huella Hídrica de una municipalidad u otra unidad administrativa, que puede ser una ciudad, es igual a la metodología aplicada para una cuenca o una nación. Hay dos enfoques para los cálculos: el enfoque descendente (top-down approach) y el enfoque ascendente (bottom-up approach).

El primero calcula la Huella Hídrica como la suma de la Huella Hídrica directa más la Huella Hídrica indirecta, restando de ello el volumen de agua virtual exportado. El segundo calcula la Huella Hídrica sumando la Huella Hídrica individual de cada consumidor. Este último enfoque (enfoque ascendente) es el que se alinea más con los objetivos del presente estudio.

Según la WFN, la HH Azul es un indicador de agua dulce (superficial y subterránea) consumida mientras que la HH Gris está relacionada con el volumen de agua dulce superficial contaminada, como producto de los procesos de producción. La fórmula planteada por Hoekstra et al. (2011) para la HH Azul es la siguiente:

$$HH\ Azul \left( \frac{m^3}{mes} \right) = \text{Evaporación agua azul} \left( \frac{m^3}{mes} \right) + \text{Incorporación agua azul} \left( \frac{m^3}{mes} \right) + \text{Agua devuelta a otra cuenca, en otro periodo o al mar} \left( \frac{m^3}{mes} \right)$$

El volumen de agua descargado al mar luego del uso es considerado parte de la HH Azul debido a que ya no estará disponible para otros usuarios dentro de la cuenca. En este sentido, la mayor parte de las aguas residuales tratadas de Lima Metropolitana incrementan significativamente la HH Azul de la ciudad.

Para la aplicación de lo establecido en el manual de la WFN, el flujo de agua residual de Lima Metropolitana se puede separar en dos partes:

- El volumen de agua residual que después de un tratamiento preliminar en la PTAR Taboada y La Chira se descarga directamente al océano (aproximadamente 72% del volumen total). Este volumen de agua, por no ser recuperable, se debe sumar a la HH Azul.
- El volumen de agua residual que se descarga a los ríos. Este flujo consta de aguas tratadas en las PTARs zonales que tienen tratamiento secundario (aproximadamente 16%) y de los vertimientos de aguas residuales sin ningún tratamiento (aproximadamente 12%). Dependiendo de la calidad del efluente, estos volúmenes forman parte de la HH Gris.

Para efectos del cálculo de la Huella Hídrica directa se reconoce una diferencia entre uso y consumo de agua. Se considera como el agua consumida a aquella que es extraída de la cuenca, es decir, la que no se encuentra disponible para otros usuarios en la misma cuenca o se devuelve en otro periodo de tiempo, aportando a la HH Azul. Por otro lado, el uso de agua implica su empleo en alguna actividad y la devolución a la misma, posiblemente en otras condiciones aportando a la HH Gris.

### 3.5.1 HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL DEL SECTOR RESIDENCIAL - HH AZUL RESIDENCIAL

Para efectos del presente estudio, el sector residencial se ha definido como el sector urbano de viviendas. El consumo de agua en ese sector está determinado por el factor climático, el factor social y el factor económico (Manco Silva et al., 2012).

Se asume que el agua incorporada en productos en el sector residencial es cero y que el agua es devuelta a la misma cuenca inmediatamente después del uso. En consecuencia, la fórmula general para calcular la HH Azul del sector residencial considera lo siguiente:

$$HH\ Azul\ residencial\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) = Evaporación\ agua\ azul\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) + Agua\ residual\ descargada\ al\ mar\ \left(\frac{m^3}{mes}\right)$$

Considerando que la evaporación de agua azul es el resultado de la suma de la evaporación de agua por el uso doméstico (excluyendo el riego de jardines) y la evapotranspiración de jardines, y que las aguas residuales producidas en Lima Metropolitana, descargadas al mar son una fracción de los efluentes de la PTARs Taboada y La Chira. La fórmula para calcular la HH Azul residencial se plantea entonces de la siguiente manera:

$$HH\ Azul\ residencial\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) = EvapDoméstico\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) + EvapRiego\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) + DesMarRes\ \left(\frac{m^3}{mes}\right)$$

Donde:

*EvapDoméstico*: Evaporación de agua por el uso doméstico excluyendo el riego de jardines (m³/mes)

*EvapRiego*: Evapotranspiración de jardines (m³/mes).

*DesMarRes*: Fracción del agua residual tratada en las PTARs Taboada y La Chira que son descargadas al mar y que son aporte del sector residencial (m³/mes). Estos efluentes son considerados también en la HH Azul porque representa un volumen de agua que sale de la cuenca y no está disponible en la cuenca para otros usuarios.

Consideraciones realizadas:

- La **evaporación de agua** (EvapDoméstico) por el uso residencial, que excluye el riego de jardines, se considera como 10% del agua utilizada (Mekonnen y Hoekstra, 2011b). Se calcula según:

$$HH\ Azul\ residen\ EvapDoméstico\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) = \left[ VolUtilRes\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) - VolRiegoRes\ \left(\frac{m^3}{mes}\right) \right] \times 0.1$$

Donde:

*EvapDoméstico*: Evaporación de agua por el uso doméstico excluyendo el riego de jardines (m³/mes)

*VolUtilRes*: Volumen utilizado (facturado) para el sector residencial (m³/mes)

*VolRiegoRes*: Agua utilizada para el riego de jardines (m³/mes)

- El **volumen utilizado** (VolUtilRes) incluye el agua facturada por SEDAPAL para el sector residencial, agua de fuentes **superficiales** (ANA), agua de pozos fuente propia (ANA), agua distribuida en cisterna por SEDAPAL.
- El volumen de agua para **riego de jardines** (VolRiegoRes) ha sido calculado independientemente. No existe **referencia** bibliográfica sobre la eficiencia de riego de áreas verdes con manguera (método muy común en Lima Metropolitana). Sin embargo, debido a que es un tipo de riego muy controlado se asume una eficiencia de 80%, igual al riego tecnificado. Esto significa que 80% del agua aplicada es absorbida por las plantas y se pierde a través de la evapotranspiración, por lo cual forma parte de la HH Azul.
- El volumen de agua para **riego de jardines** (VolRiegoRes) se ha estimado con el programa Cropwat (2009). Este programa **estima** el volumen total de agua requerido por un tipo de vegetación estándar (alfalfa), bajo características climáticas determinadas (ET0). En un segundo paso, se corrige los requerimientos por un factor (Kc) que indica en cuánto los requerimientos de una especie de planta o un cultivo específico difieren de los requerimientos de la vegetación estándar. Estudios para paisajes residenciales en California encontraron que el factor Kc promedio para la vegetación típica de jardines residenciales es alrededor de 1.0 (DeOreo et al., 2011).
- Las áreas de jardines (por distrito) requeridas para el cálculo del volumen de riego (VolRiegoRes) y evapotranspiración de jardines (EvapRiego) han sido estimadas mediante un análisis geoespacial usando imágenes

satelitales. Del área total calculada se restaron las áreas de jardines privados de uso público (ejemplo los grandes clubes) con el fin tener un valor más representativo sólo del sector residencial (ver Anexo 2).

- La fórmula usada para el cálculo del **volumen de agua para riego** (VolRiegoRes) y la **evapotranspiración de jardines** (EvapRiego) son las siguientes:

$$VolRiegoRes \left( \frac{m^3}{mes} \right) = \left[ \frac{(ETO_0 \times 1.0) \left( \frac{m^3}{ha} y mes \right)}{0.8} \right] \times \text{Área de jardines} (ha)$$

Donde:

VolRiegoRes: Agua utilizado para riego de jardines (m<sup>3</sup>/ha y mes)

ETO<sub>0</sub>: Volumen total de agua requerido por un tipo de vegetación estándar (m<sup>3</sup>/ha y mes)

Área de jardines: áreas de jardines residenciales excluyendo los privados de uso público (ha)

$$EvapRiego \left( \frac{m^3}{mes} \right) = (ETO_0 \times 1.0) \left( \frac{m^3}{ha} y mes \right) \times \text{Área de jardines} (ha)$$

Donde:

EvapRiego: Evapotranspiración de jardines (m<sup>3</sup>/mes)

ETO<sub>0</sub>: Volumen total de agua requerido por un tipo de vegetación estándar (m<sup>3</sup>/ha y mes).

Área de jardines: áreas de jardines residenciales excluyendo los privados de uso público (ha)

- El volumen de **agua no facturada** se compone de fugas en conexiones y redes, agua utilizada para limpieza de reservorios y tuberías de agua potable y alcantarillado, agua utilizada para pruebas hidráulicas, pérdidas en surtidores de camiones cisterna y uso contra incendios. Según el estudio de Nippon Koei Co Ltd (2017) las fugas recargan el acuífero Rímac-Chillón y por lo tanto no se considera como agua consumida. Lo mismo se puede asumir para las pérdidas en surtidores de camiones cisterna. Los volúmenes utilizados para limpieza y pruebas hidráulicas entran a la red de alcantarillado y tampoco forman parte de la Huella Hídrica.

En resumen, los datos utilizados para el cálculo de la **HH Azul residencial** fueron los siguientes:

- ♦ Volúmenes de agua facturada por SEDAPAL para el sector residencial por distrito [m<sup>3</sup>/mes y distrito].
- ♦ SEDAPAL [m<sup>3</sup>/mes y distrito] (Información de la ANA).
- ♦ Volúmenes de agua distribuidos con camiones cisterna por SEDAPAL [m<sup>3</sup>/mes por distrito].
- ♦ Área de jardines privados en cada distrito [ha].
- ♦ Datos meteorológicos para el cálculo de la evapotranspiración de los jardines [precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad, velocidad de viento y horas sol].
- ♦ Volumen de aguas residuales del sector residencial tratadas en las PTARs Taboada y La Chira (m<sup>3</sup>/mes).

### 3.5.2 HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL DEL SECTOR COMERCIAL - HH AZUL COMERCIAL

La HH Azul comercial se ha calculado considerando la siguiente fórmula:

$$HH \text{ Azul comercial} \left( \frac{m^3}{mes} \right) = VolUtilCom \left( \frac{m^3}{mes} \right) - EflCom \left( \frac{m^3}{mes} \right) - 20\% \text{ AguaRiegoCom} \left( \frac{m^3}{mes} \right) + DesMarCom \left( \frac{m^3}{mes} \right)$$

Donde:

VolUtilCom: Considerado afluente, es el volumen utilizado, facturado por SEDAPAL o extraído de pozos fuente propia (ANA) (m<sup>3</sup>/mes)

EflCom: Volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector comercial (m<sup>3</sup>/mes)

AguaRiegoCom: Volumen de agua de riego de áreas verdes privadas de uso comercial (m<sup>3</sup>/mes), 80% de eficiencia

DesMarCom: Fracción del EflCom tratada en las PTARs Taboada y Chira y descargado al mar (m<sup>3</sup>/mes)

El efluente del sector comercial (EflCom) consiste de dos partes: el efluente por actividades comerciales y el efluente por el uso personal del agua que realizan los funcionarios y trabajadores.

$$EflCom \left( \frac{m^3}{mes} \right) = EflActCom \left( \frac{m^3}{mes} \right) + EflPersCom \left( \frac{m^3}{mes} \right)$$

Donde:

EflPersCom: Volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector comercio (m<sup>3</sup>/mes)

EflActCom: Volumen del efluente por actividades comerciales en el sector comercio (m<sup>3</sup>/mes)

Para calcular el volumen del **efluente por actividades comerciales** (EflActCom) se puede asumir que en este sector el agua no se utiliza como un factor de producción, sino principalmente para fines de limpieza de las instalaciones. En el caso de limpieza, se asume que el 100% del agua utilizada evapora, por lo tanto, el volumen del efluente por actividades comerciales en el sector comercio es cero y el cálculo del efluente comercial se reduce a:

$$EflCom (m^3/mes) = EflPersCom (m^3/mes)$$

El efluente **producido por el personal** (EflPersCom) ha sido calculado considerando el uso del agua en sus actividades diarias como higiene personal, uso de servicios higiénicos y lavado de vajillas (Banco de Desarrollo de América Latina, 2015). Este valor se estimó a partir de encuestas realizadas a 259 personas, trabajadores y funcionarios de 4 empresas en Lima. El resultado para un funcionario fue un valor promedio de 45,88L/día. Este cálculo consideró solo días laborales, excluyendo un mes de vacaciones.

La European Comission DG ENV (2009), en base a una revisión de literatura reporta para una persona un promedio de consumo de agua de 13 m<sup>3</sup>/año en su puesto de trabajo (working place consumption). Este volumen por año corresponde a 50 L/día por un oficinista (asumiendo 5 días laborables por semana). Algunos otros estudios reportan por persona: 71 L/día en México (IMTA, 2003); 59 L/día en Inglaterra (South Staffs Water, n.d.).

Un análisis independiente se realizó para los obreros, quienes consumen más agua porque con frecuencia hacen uso de las duchas de su empresa. Este análisis dio como resultado un consumo de 195 L/día en promedio (excluyendo vacaciones y días no laborables). En general se asumió que el 30% de los obreros hacen uso diario de las duchas en su centro laboral ya que algunas empresas pequeñas no disponen de duchas. No se encontró referencia en la literatura con valores promedio para este tipo uso. Se considera que el otro 70% generalmente usa baños portátiles muy cerca de la zona donde realiza su trabajo, por lo que no genera efluentes.

Para obtener el promedio mensual del número de ejecutivos, empleados y obreros para el sector Comercial a nivel distrital se consultó las planillas electrónicas de la base de datos del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo en <http://www2.trabajo.gob.pe/estadisticas/anuarios-estadisticos/>.

El volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector comercial se calcula de la siguiente manera:

$$EflPersCom \left( \frac{m^3}{mes} \right) = (NumEjecutivosCom + NumEmpleadosCom) \times 0.04588 (m^3) \times DiasMes (N^\circ) + NumObrerosCom \times (0.3 \times 0.19497) (m^3) \times DiasMes (N^\circ)$$

Donde:

*EflPersCom*: Volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector comercio (m<sup>3</sup>/mes)

*NumEjecutivosCom*: Número de ejecutivos en el sector comercio (N° personas)

*NumEmpleadosCom*: Número de empleados en el sector comercio (N° personas)

*NumObrerosCom*: Número de obreros en el sector comercio (N° personas)

*DíasMes*: Número de días del mes (todos los días, no sólo días laborales) (N°)

Para el cálculo de la HH Azul comercial también se consideró el agua para el riego de áreas verdes privadas de uso comercial como en los clubes grandes (AguaRiegoCom). Se asume una eficiencia de riego de 80% igual al sector residencial, por lo cual 20% del agua queda en la cuenca por infiltración y, por lo tanto, no forma parte de la HH Azul.

La variable DesMarCom, corresponde a la fracción del efluente comercial que es tratada en las PTARs Taboada y La Chira. Este valor es sumado a la ecuación porque conceptualmente aporta a la HH Azul Comercial, debido a que esta agua que no se encuentra disponible para otros usuarios dentro de la misma cuenca.

En resumen, los datos utilizados para el cálculo de la HH Azul comercial fueron los siguientes:

- ◆ Volúmenes de agua facturada por el sector comercial por distrito [m<sup>3</sup>/mes por distrito].
- ◆ Volúmenes de agua extraídos para uso comercial de fuentes subterráneas fuera del control de SEDAPAL [m<sup>3</sup>/mes y distrito] (información de la ANA).
- ◆ Número de funcionarios, empleados y obreros en el sector comercial por distrito (número de personas).
- ◆ Valores empíricos del consumo de agua diario de empleados, ejecutivos y obreros.
- ◆ Volumen de agua de riego de áreas verdes privadas de uso comercial
- ◆ Volumen de aguas residuales del sector comercial tratado en las PTARs Taboada y Chira (m<sup>3</sup>/mes).

### 3.5.3 HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL DEL SECTOR INDUSTRIAL - HH AZUL INDUSTRIAL

El sector industrial agrupa a aquellos consumidores cuyo rubro ha sido asignado como tal por instituciones oficiales como la SUNAT o estén clasificados como tipo de consumidor industrial en la base de datos de SEDAPAL o ANA.

La HH Azul industrial ha sido cuantificada en base a los consumos por pérdidas evaporativas de procesos industriales, uso sanitario e incorporación de agua en productos. Se considera además la fracción de los efluentes comerciales tratados y descargados al mar por las PTARs Taboada y la Chira (DesMarInd).

Una forma de calcular las pérdidas evaporativas de procesos industriales es usar una tasa de consumo fija. La tasa de consumo es el porcentaje de agua facturada que se consume durante el proceso y depende de los procesos aplicados en cada subsector. Además del consumo de agua en procesos industriales, se suma la incorporación de agua en productos y la evaporación de agua durante el uso sanitario y doméstico del agua por el personal de las empresas.

La variable DesMarInd, que corresponde a la fracción del agua residual comercial que es tratado en las PTARs Taboada y Chira, ha sido calculado asumiendo que un porcentaje de este representa el aporte del sector comercial.

La HH Azul industrial fue cuantificada aplicando la tasa de consumo fija mediante la siguiente fórmula:

$$HH\ Azul\ industrial\left(\frac{m^3}{mes}\right) = \left[ \sum_{i=1}^n TasaConsi_i (\%) \times VolUtilInd_i\left(\frac{m^3}{mes}\right) \right] + DesMarInd\left(\frac{m^3}{mes}\right)$$

Donde:

*i*: Subsector industrial (número de subsectores = *n*)

*TasaConsi*: Tasa de consumo del subsector industrial *i* (%)

*VolUtilIndi*: Volumen utilizado facturado por SEDAPAL o extraído de pozos fuente propia (ANA) en el subsector (m<sup>3</sup>/mes)

*DesMarInd*: Fracción del efluente industrial tratada en las PTARs Taboada y Chira y descargado al mar (m<sup>3</sup>/mes).

Consideraciones realizadas:

- ♦ **Volumen de agua utilizado** (VolUtilInd) es el volumen utilizado facturado por SEDAPAL o extraído de pozos que son fuente propia.
- ♦ Las **tasas de consumo** (TasaConsi) consideradas para este estudio son las de Statistics Canada (2012). Presenta una tasa para cada rubro o subsector industrial (ver Tabla 3) que indica el porcentaje del volumen de agua utilizado que se pierde. Estas tasas incluyen pérdidas evaporativas de procesos industriales, uso sanitario e incorporación de agua en productos.

A cada usuario, dependiendo del subsector, se le asignó su respectiva tasa de consumo (TasaConsi) según la Tabla 3. Las empresas que no fueron agrupadas (por falta de coincidencia entre el rubro y su nombre o porque no existe na tasa de consumo para este grupo) fueron consideradas en el grupo "desconocido" al que se asignó una tasa de consumo promedio de 9,3%.

Los criterios para la determinación del rubro en el sector industrial fueron:

Consideraciones realizadas:

- ♦ Los usuarios industriales de agua superficial y subterránea de la ANA fueron agrupados en subsectores industriales en base a la clasificación realizada por la SUNAT según su actividad económica (código CIIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme).
- ♦ Los usuarios industriales de SEDAPAL han sido incluidos en los subsectores industriales según su CUA (Código de Uso de Agua). Asimismo, se agregaron al grupo industrial "desconocido" a los usuarios que no pudieron ser agrupados.

### 3.5.4 HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL DEL SECTOR PÚBLICO (MUNICIPAL) - HH AZUL PÚBLICO

El sector público demanda agua para el riego de áreas verdes públicas y para otras actividades. En este estudio se han calculado la HH Azul Público (Municipal) en base a la HH Azul del riego y la HH Azul de otras actividades diferentes al riego.

$$HH\ Azul\ público\left(\frac{m^3}{mes}\right) = HH\ Azul\ Púb\ Rieg\left(\frac{m^3}{mes}\right) + HH\ Azul\ Púb\ Otro\ (m^3/mes)$$

Donde:

*HH Azul Púb Riego*: Huella azul del riego de áreas verdes públicas (pérdidas de evapotranspiración) (m³/mes)

*HH Azul Púb Otro*: Huella azul de otras actividades y consumidores públicos. (m³/mes).

La **HH Azul del riego** (HH Azul Púb Riego) se cuantifica en base a la extensión de áreas verdes públicas bajo riego y los volúmenes de agua utilizados para este fin. Además, se considera un factor de eficiencia de riego que permite determinar la fracción del volumen de agua utilizado que se convierte en Huella Azul y el volumen que se infiltra al acuífero.

$$HH\ Azul\ Púb\ Riego\left(\frac{m^3}{mes}\right) = AguaRiegoPub\left(\frac{m^3}{mes}\right) \times EfiRieg\ (\%)$$

Donde:

*AguaRiegoPub*: Volumen de agua para el riego de áreas verdes públicas (m³/mes)

*EfiRieg*: Eficiencia de riego (%).

Para estimar la demanda de agua para el riego de áreas verdes públicas de Lima Metropolitana se extrajo información sobre las áreas verdes públicas bajo riego, tal como volúmenes y fuentes de agua usadas por el sector público de un estudio realizado por el Observatorio de Agua (ver Anexo 3). En el caso de los distritos de Lima sin información, se estimaron los volúmenes faltantes de la siguiente manera:

Para la **extensión de áreas verdes** de los distritos de Lima se tomaron los valores del Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano al 2035 (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2014). Para los distritos de la Provincia Constitucional del Callao, se usaron las extensiones para áreas de recreación pasivas (parques plazas alamedas y óvalos) y activas (losas deportivas, complejos deportivos, campos deportivos, estadios deportivos y áreas de esparcimiento) del Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia Constitucional del Callao 2011-2022 (Municipalidad provincial del Callao, 2010). Esta información se complementó con el área de las bermas, las cuales constituyen 346.74m²/ha en el distrito de Callao (1 582 859 m² por 4 565 ha; Municipalidad del Callao, 2015). Por falta de información para los otros distritos, se usó la misma extensión de bermas por ha para toda la provincia del Callao. Luego se identificaron las extensiones de parques zonales y metropolitanos (áreas bajo manejo de SERPAR) en cada distrito. En el estudio original, el riego de parques zonales y metropolitanos fue considerado en un ítem global y no a nivel distrital, esta información fue extraída de Moscoso et al. (2011). Según la Municipalidad Metropolitana de Lima (2014) no hay parques zonales y metropolitanos en la provincia de Callao.

♦ Para los volúmenes **de agua utilizados** para el riego de áreas verdes públicas, en el distrito de Chaclacayo se obtuvo información sobre las fuentes de agua para riego de áreas verdes públicas de Villarán (Inventario de áreas verdes Lima Metropolitana, 2010). Según esta fuente el agua para riego proviene en un 83% del canal, 6% de SEDAPAL y 11% de camión cisterna. La dotación por hectárea asumida fue la dotación promedio de los distritos con información en la base de datos del Observatorio de Agua. La misma distribución de fuentes y dotación se asumió para Pachacamac. Para Chorrillos se utilizó la dotación/ha promedio y la distribución entre fuentes de Barranco (por ser el distrito vecino; 95% de SEDAPAL y 5% de camión cisterna)). En el caso de los balnearios como Pucusana, San Bartolo y Punta Negra (con pocas áreas verdes públicas), se utilizó la dotación/ha promedio y se asumió que toda el agua de riego es agua residual tratada (similar a Punta Hermosa donde el 95% del agua para riego es agua residual tratada).

♦ Del mismo modo fue necesario estimar los volúmenes y fuentes de agua de riego en los distritos de la Provincia Constitucional del Callao. En Callao y Ventanilla se riegan 8 y 3,5 ha, respectivamente, con aguas residuales tratadas y no se utiliza agua de canales (Méndez, 2016). Mientras que para los otros distritos del Callao no se consideró el uso de aguas residuales tratadas. El volumen restante se asumió que proviene de la red de SEDAPAL (19%) y de camiones cisterna (81%), igual que en los distritos vecinos de Puente Piedra y San Martín de Porres.

♦ Según el Observatorio de Agua (2016), la dotación asumida para todos los distritos del Callao fue el promedio. Para obtener un volumen de agua estimado aplicado en los distritos que no cuentan con información de dicho estudio se realizó una multiplicación del área con riego manejado por las autoridades distritales y los volúmenes de agua estimados para riego de diferentes fuentes. Así también, un volumen global de riego bajo responsabilidad de SERPAR ha sido distribuido a los diversos distritos con parques zonales y metropolitanos según la extensión de áreas verdes que presentaron.

Por otro lado, se prorrateó el volumen anual de riego en los doce meses del año. No se puede asumir una dotación constante por hectárea durante todo el año ya que en general la vegetación requiere menos agua durante el invierno debido a que la evapotranspiración se ve reducida por factores climáticos. Por lo tanto, se ha distribuido el volumen anual de agua de riego siguiendo el patrón de evapotranspiración para cada distrito.

El siguiente paso consistió en estimar la eficiencia de riego de cada tecnología, la cual indica el porcentaje de agua que es utilizada por la vegetación. El agua no utilizada se infiltra al suelo y se mantiene ahí o recarga el acuífero local. Para cada fuente de agua (río, canal, agua subterránea, etc.) se ha asumido diferentes tecnologías de eficiencia de riego, tal como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4. Eficiencia de riego según tecnología**

| FUENTE DE AGUA | RÍO, CON CANAL DE RIEGO                     | RED PÚBLICA - SEDAPAL             | AGUA RESIDUAL TRATADA             | AGUA SUBTERRÁNEA                  | CAMIÓN CISTERNA  |
|----------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Tecnología     | Inundación                                  | Aspersión/manguera                | Aspersión/manguera                | Aspersión/manguera                | Inundación   |
| Eficiencia (%) | 40  | 80                                | 80                                | 80                                | 50   |
| Fuente         | MINAGRI, 2015 (riego tradicional o tendido) | MINAGRI, 2015 (riego presurizado) | MINAGRI, 2015 (riego presurizado) | MINAGRI, 2015 (riego presurizado) | No hay referencia. Se asume una eficiencia mayor que por inundación y menor que por riego presurizado. |

Multiplicando los volúmenes mensuales de agua de riego para las áreas verdes públicas con la eficiencia de riego (promedio ponderado según volumen aplicado con diferentes tecnologías) se obtuvo la Huella Azul de Riego de áreas verdes públicas.

Para la determinación de la **Huella Azul por otras actividades diferentes al riego (HH Azul Púb Otro)** se calculó los volúmenes de agua utilizados en actividades como: limpieza de áreas públicas y de vehículos municipales, el agua de piletas y de servicios higiénicos públicos en todas las instalaciones municipales, agua utilizada para la limpieza de instalaciones municipales y por los trabajadores y funcionarios municipales durante su jornada laboral.

Se considera además que no hay actividades de incorporación de agua en productos. Esta cuantificación se realizó mediante una diferencia entre los volúmenes totales facturados por SEDAPAL de los sectores social y público (información extraída de la base de datos comercial de SEDAPAL, específicamente de los CUA's de la serie 01: social y 05: público) y los volúmenes de agua potable utilizados para el riego. El volumen resultante representa la Huella Azul por otras actividades diferentes al riego.

Para convertir el volumen utilizado y el volumen de agua evaporada (se asume que no hay actividades de incorporación de agua en productos) se aplicó un factor de 20%. Finalmente, la **Huella Hídrica Azul por otras actividades diferentes al riego** se calculó como la suma de los volúmenes de agua perdidos a través de evaporación más los volúmenes de agua residuales llevados a las PTAR Taboada y La Chira. En esta metodología el factor de evaporación de 20% es altamente incierto, sin embargo, no existen referencias en literatura sobre tasas de evaporación en unidades públicas. Diversos estudios propios de Huella Hídrica realizados a Municipalidades indican tasas de evaporación mayores a 20%. No obstante, utilizando un factor de evaporación de 40%, la fracción de agua utilizada que se convierte en Huella Azul es solamente 4% mayor, ello debido a que lo que principalmente determina la Huella son los volúmenes grandes de agua descargados al mar y en menor porcentaje las pérdidas por evaporación. En conclusión, el factor de evaporación no es un dato muy determinante para la Huella Azul del sector público y por lo tanto, para el presente estudio se utilizó el factor de estimado de 20%. Se sugiere mejorar este estimado con un estudio más

detallado de los usos y pérdidas de agua en actividades realizadas por el sector público.

De acuerdo con lo arriba mencionado, la Huella azul de otras actividades y consumidores públicos (HH Azul Púb Otro) se calcula de la siguiente manera:

$$HH\ Azul\ Púb\ Otro\left(\frac{m^3}{mes}\right) = \left[ VolUtilPúb\left(\frac{m^3}{mes}\right) - AguaRiegoPúb\left(\frac{m^3}{mes}\right) \right] \times 0.2 + DesMarPúb\left(\frac{m^3}{mes}\right)$$

Donde:

*VolUtilPúb*: Volumen total utilizado (facturado) por SEDAPAL o extraído de pozos fuente propia en el sector público (m³/mes)

*AguaRiegoPúb*: Volumen de agua para el riego de áreas verdes públicas (m³/mes)

*DesMarPúb*: Fracción del efluente público tratada en las PTARs Taboada y Chira y descargado al mar (m³/mes).

### 3.5.5 HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL DEL SECTOR AGRICULTURA - HH AZUL AGRICULTURA

El sector agricultura considerado como dominio para este estudio es el que se practica en las zonas periféricas al norte, este y sur de la ciudad de Lima. Este sector se abastece de agua superficial, mediante canales de derivación de los ríos, y agua subterránea mediante la extracción directa.

Para el cálculo de la HH Azul agricultura se han considerado los consumos de agua superficial y subterránea en el dominio del estudio, destinadas para el riego de cultivos.

La demanda de agua superficial para la agricultura fue estimada a partir de las pérdidas de agua superficial en los valles del río Rímac, Chillón y Lurín. Para el río Rímac se ha considerado el tramo comprendido entre la estación hidrométrica de Chosica (como punto más alto) y la Planta de Tratamiento La Atarjea. Nippon Koei LAC CO. LTD. (n.d.) estimó una pérdida de 2,5 m³/s considerándola como la demanda agrícola en este tramo. A este valor se restó el caudal promedio de 1 m³/s que es derivado al canal Surco (río Surco, cuya bocatoma se encuentra ubicada en este tramo) y así evitar un doble conteo. Las aguas del río Surco son utilizadas principalmente por el sector público para el riego de áreas verdes y ya se encuentran contabilizadas en la HH Azul público. Por lo tanto, se considera una demanda agrícola en el tramo Chosica-La Atarjea de 1,5 m³/s. Aguas debajo de la Atarjea se puede asumir que no hay áreas de agricultura. El mismo estudio estima una demanda agrícola para el río Chillón entre 1,93 (junio) y 4,42 m³/s (febrero). Para el río Lurín la demanda agrícola varía entre 0,7 (junio) y 3,3 m³/s (febrero), estimados usados también por la Municipalidad Metropolitana de Lima para el PLAM Lima-Callao 2 035 (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2014).

Para el uso de agua subterránea del sector agricultura, la Municipalidad Metropolitana de Lima (2014) reporta que es usado el 0,82% de la extracción total del acuífero Rímac-Chillón y el 27,84% de la extracción total del acuífero Lurín (ANA-OSNIRH, 2010) en el riego de zonas cultivo.

Para la cuantificación de la HH Azul agricultura se debe estimar el porcentaje de agua que se pierde a través del proceso de la evapotranspiración. Se asumió una eficiencia de riego de 40% (MINAGRI, 2015). Este valor está acorde con lo reportado por Nippon Koei LAC CO. LTD (n.d.), que proyectó una eficiencia de 40% para el año 2020 (37% en el año 2010). Una eficiencia de 40% significa que el cultivo agrícola aprovecha solamente 40% del agua y los 60% restantes se infiltran al suelo o desembocan a un río a través de los canales de drenaje y, por lo tanto, no forman parte de la HH Azul agricultura.

### 3.6 METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DIRECTA GRIS - HH GRIS

La Huella Hídrica directa Gris (HH Gris) representa el volumen de agua dulce que se necesitaría para diluir la contaminación del agua generada por las actividades humanas en las que fueron usadas, hasta un nivel aceptable respecto a los estándares de calidad aplicables según la normativa peruana.

La HH Gris se cuantifica sólo para el contaminante más crítico ya que se asume que el volumen de agua necesario para diluir este contaminante también diluye a los otros contaminantes. Para este estudio, se calculó la HH Gris considerando la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) como parámetro químico más apropiado puesto que en el ámbito de Lima los contaminantes provienen mayormente de las aguas residuales residenciales y comerciales no tratadas.

La ecuación general (Hoekstra et al., 2011), para el caso de vertimientos puntuales de agua:

$$HH\text{ Gris (L/año)} = (Efl \times Cefl - Abstr \times Cact) / (Cmax - Cnat)$$

Donde:

*Cmax*: Concentración máxima. Los valores se tomaron del DS 004-2017-MINAM (mg/L)

*Cnat*: Concentración natural del cuerpo de agua (mg/L)

*Efl*: Volumen de efluentes (L)

*Cefl*: Concentración del contaminante en el efluente (mg/L)

*Abstr*: Volumen de agua extraída (L)

*Cact*: Concentración real de la toma de agua extraída (mg/L)

Consideraciones realizadas:

- ♦ La determinación del **volumen de efluentes** (*Efl*) abarca aguas residuales tratadas y no tratadas. Se realizó mediante un balance de masas, restando las pérdidas evaporativas, los volúmenes incorporados en productos y los volúmenes que infiltran al suelo (en caso de riego) de los volúmenes de agua utilizados por sector.
- ♦ Se asumió que del 100% de agua residual tratada en Lima, el 81% se tratan en la PTAR Taboada y La Chira y 19% en las PTARs zonales con tratamiento secundario. El Anexo 4 resume los efluentes de la PTAR Taboada y La Chira que se consideraron como parte de la HH Azul, los volúmenes de efluentes de las otras PTARs y los vertimientos sin tratamiento que se usaron para los cálculos de la Huella Gris (*Efl*).
- ♦ El volumen de las aguas residuales no tratadas se tomó de la base de datos de la ANA.
- ♦ La determinación de la **concentración en el efluente** (*Cefl*) es la concentración de contaminantes en el efluente en el punto de la descarga al cuerpo receptor (vertimiento). La concentración de contaminantes en el agua residual, necesaria para los cálculos de la Huella Gris, se obtuvieron de las siguientes fuentes:
  - o En las PTARs con tratamiento se contó con resultados del monitoreo de efluentes para los parámetros DBO y DQO.
  - o Para los efluentes vertidos sin tratamiento directamente a los ríos, se consideró la concentración de DBO característica de los afluentes de la PTAR Taboada. Se determinó el promedio ponderado anual de 305 mg/L para la DBO.
- ♦ La **concentración natural** (*Cnat*) es la concentración natural de los parámetros de interés en un cuerpo de agua que ocurrirían si no habría impactos humanos sobre la cuenca. Las concentraciones de referencia utilizadas de DBO provienen del muestreo de DIGESA (2011) en la bocatoma de laguna Ticticocha, Carretera Central Km 127).
- ♦ La **concentración máxima** (*Cmax*) es el valor máximo admisible de la concentración de los parámetros de interés (contaminante) que está establecida en la norma de calidad de referencia que debe medirse después de diluir el contaminante de interés. Para este estudio la norma de referencia son los ECAs para agua (DS-004-MINAM-2017), categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, subcategoría D1: Riego de vegetales-riego no restringido. Actualmente los ríos Rímac, Chillón y Lurín (debajo de las bocatomas de las plantas potabilizadoras) están clasificados como cuerpos de agua de la categoría 3 por la ANA (Resolución Jefatural N°202-2010-ANA).
- ♦ La **concentración del agua en el punto de abstracción** (*Cact*) (Hoekstra et al., 2011) es la concentración de los parámetros de interés (contaminante) en el agua en el momento de la extracción. Para este estudio se calculó un promedio ponderado respecto al volumen de abstracción para el año 2016. La concentración promedio de la DBO se tomaron del Anuario Estadístico 2016 de SEDAPAL (disponibles para el río Rímac como principal fuente). A continuación, se resume los valores característicos usados de los valores de DBO utilizados en el cálculo de la Huella Gris.

**Tabla 5. Concentraciones utilizadas para el cálculo de la Huella Hídrica Gris**

| PARÁMETRO | UNIDAD | <i>Cnat</i> | <i>Cmax</i><br>(1) | <i>Cact</i> |
|-----------|--------|-------------|--------------------|-------------|
| DBO       | [mg/L] | 4,2         | 15                 | 4,72        |

(1) DS-004-MINAM-2017

### 3.6.1 HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR RESIDENCIAL – HH GRIS RESIDENCIAL

Para el cálculo de la HH Gris Residencial se ha usado la siguiente fórmula:

$$HH\ Gris\ residencial\left(\frac{L}{mes}\right) = \frac{EflRes\left(\frac{L}{mes}\right) \times CEflRes\left(\frac{mg}{L}\right) - VolUtilRes\left(\frac{L}{mes}\right) \times Cact\left(\frac{mg}{L}\right)}{Cmax\left(\frac{mg}{L}\right) - Cnat\left(\frac{mg}{L}\right)}$$

*EflRes*: Volumen de efluentes del sector residencial que se trata en las PTARs zonales o se descarga sin tratamiento a un río (L/mes)

*CEflRes*: Concentración del contaminante en el efluente del sector residencial (mg/L)

*VolUtilRes*: Volumen de agua utilizado por el sector residencial (L/mes)

*Cact*: Concentración real de la toma de agua extraída (mg/L)

*Cmax*: Concentración máxima. Los valores se tomaron del DS 004-2017-MINAM (mg/L)

*Cnat*: Concentración natural del cuerpo de agua (mg/L)

El volumen del efluente es igual a la diferencia entre el volumen de agua utilizada por el sector residencial menos el agua de riego (20% infiltra al suelo y el restante forma la HH Azul porque evapora del suelo y de la vegetación), las pérdidas de evaporación del uso residencial y el volumen de agua residual que se descarga al mar.

$$EflRes\left(\frac{m^3}{mes}\right) = VolUtilRes\left(\frac{m^3}{mes}\right) - VolRiego\left(\frac{m^3}{mes}\right) - EvapResidencial\left(\frac{m^3}{mes}\right) - DesMarRes\left(\frac{m^3}{mes}\right)$$

Donde:

*EflRes*: Volumen del efluente del sector residencial (m³/mes)

*VolUtilRes*: Volumen de agua utilizada en el sector residencial (m³/mes)

*VolRiego*: Agua utilizada para riego de jardines (m³/mes)

*EvapResidencial*: Evaporación de agua por el uso residencial excluyendo el riego de jardines (m³/mes)

*DesMarRes*: *DesMarRes*: Fracción del agua residual tratada en las PTARs Taboada y La Chira que son descargadas al mar y que son aporte del sector residencial (m³/mes).

### 3.6.2 HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR COMERCIAL – HH GRIS COMERCIAL

$$HH\ Gris\ comercial\left(\frac{L}{mes}\right) = \frac{EflCom\left(\frac{L}{mes}\right) \times CEflCom\left(\frac{mg}{L}\right) - VolUtilCom\left(\frac{L}{mes}\right) \times Cact\left(\frac{mg}{L}\right)}{Cmax\left(\frac{mg}{L}\right) - Cnat\left(\frac{mg}{L}\right)}$$

Donde:

*EflCom*: Volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector comercio que se trata en las PTARs zonales o se descarga sin tratamiento a un río (L/mes)

*CEflCom*: Concentración del contaminante en el efluente del sector comercial (mg/L)

*VolUtilCom*: Volumen facturado al sector comercial (L/mes)

*Cact*: Concentración real de la toma de agua extraída (mg/L)

*Cmax*: Concentración máxima. Los valores se tomaron del DS 004-2017-MINAM (mg/L)

*Cnat*: Concentración natural del cuerpo de agua (mg/L)

El volumen del efluente del sector comercial ya se ha calculado para la HH Azul, y es igual al efluente que genera el uso personal del agua de los trabajadores del sector.

### 3.6.3 HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR INDUSTRIAL – HH GRIS INDUSTRIAL

La HH Gris del sector industrial se calcula con la siguiente fórmula:

$$HH\ Gris\ industrial\left(\frac{L}{mes}\right) = \frac{EflInd\left(\frac{L}{mes}\right) \times CEflInd\left(\frac{mg}{L}\right) - VolUtilInd\left(\frac{L}{mes}\right) \times Cact\left(\frac{mg}{L}\right)}{Cmax\left(\frac{mg}{L}\right) - Cnat\left(\frac{mg}{L}\right)}$$

Donde:

*EflInd*: Volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector industrial que se trata en las PTARs zonales o se descarga sin tratamiento a un río (L/mes)

*CEflInd*: Concentración del contaminante en el efluente del sector industrial (mg/L)

*VolUtilInd*: Volumen facturado al sector industrial (L/mes)

*Cact*: Concentración real de la toma de agua extraída (mg/L)

*Cmax*: Concentración máxima. Los valores se tomaron del DS 004-2017-MINAM (mg/L)

*Cnat*: Concentración natural del cuerpo de agua (mg/L)

El efluente del sector industrial (EflInd) se calcula de la siguiente manera:

$$EflInd \left( \frac{m^3}{mes} \right) = VolUtilInd \left( \frac{m^3}{mes} \right) - HuellaAzulInd \left( \frac{m^3}{mes} \right) - DesMarInd \left( \frac{m^3}{mes} \right)$$

Donde:

*EflInd*: Volumen del efluente por el uso personal del agua en el sector industrial (m<sup>3</sup>/mes)

*VolUtilInd*: Volumen utilizado en el sector industrial (m<sup>3</sup>/mes)

*HuellaAzulInd*: Huella Azul del sector industrial (m<sup>3</sup>/mes)

*DesMarInd*: Fracción del agua residual tratada en las PTARs Taboada y Chira y descargado al mar (m<sup>3</sup>/mes), que corresponde al aporte del sector residencial.

La información utilizada para el cálculo de la HH Gris Industrial es la siguiente:

- ◆ Concentración natural de los parámetros de interés en los ríos Rímac, Chillón y Lurín (mg/L).
- ◆ Concentración natural de los parámetros de interés en los acuíferos de Lima (mg/L).
- ◆ Concentración actual de los parámetros de interés en los ríos Rímac, Chillón y Lurín en las bocatomas de las plantas de tratamiento (mg/L).
- ◆ Concentración actual de los parámetros de interés en el agua potable de Lima (mg/L).
- ◆ Concentración actual de los parámetros de interés en los acuíferos de Lima (mg/L).
- ◆ Concentración máxima aceptable de los parámetros de interés en los ríos de la costa para la utilidad: Riego de vegetales (mg/L).
- ◆ Concentración máxima aceptable de los parámetros de interés en los acuíferos (mg/L).
- ◆ Concentración actual de los parámetros de interés en los efluentes de los sectores residencial, comercial e industrial (mg/L).



# 4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

## 4.1 HUELLA HÍDRICA AZUL

La Huella Hídrica Azul (HH Azul) es volumen de agua de fuente superficial o subterránea, que se consumió a través de evaporación, incorporación en productos o el agua que no regresa a la cuenca de la que fue extraída en el mismo periodo de tiempo o fue vertida al mar y, por lo tanto, ya no se encuentra disponible para otros usuarios.

La HH Azul total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 fue de 638 MMC. Esto quiere decir que 638 MMC fueron extraídos de la cuenca y consumidos por el sector residencial, comercial, industrial, agrícola y público y, por lo tanto, no estuvieron disponibles para el aprovechamiento de otros usuarios.

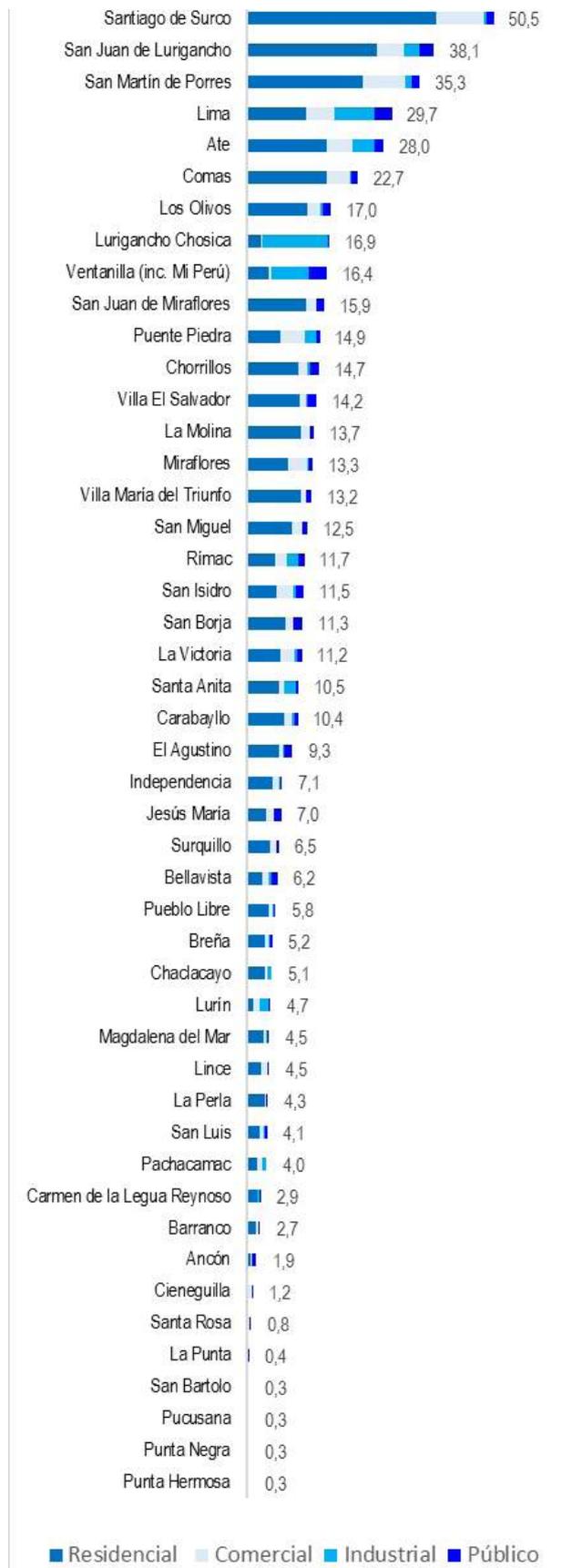
En el Gráfico 2 se puede observar que, en general, el sector residencial fue el principal usuario y consumidor de agua en la ciudad con un 54%, para actividades como limpieza, higiene, alimentación y, en algunos de los distritos, para el riego de jardines privados, seguido por el sector comercial e industrial con 15% cada uno, sector agricultura con 9% y finalmente el sector público con 7%.

Sin embargo, esta situación varía para cada distrito. Por ejemplo, para el Callao, Ventanilla y Lurigancho Chosica la mayor contribución a la HH Azul fue del sector industrial con más del 40% por tener más zonas industriales, como se puede apreciar en el siguiente gráfico. Los resultados de los cálculos de la HH Azul para cada sector se encuentran en el Anexo 5.

**Gráfico 2. Huella Hídrica Azul de los usuarios de Lima Metropolitana por sectores (%)**



**Gráfico 3. Huella Hídrica Azul por distrito y por sector (MMC)**

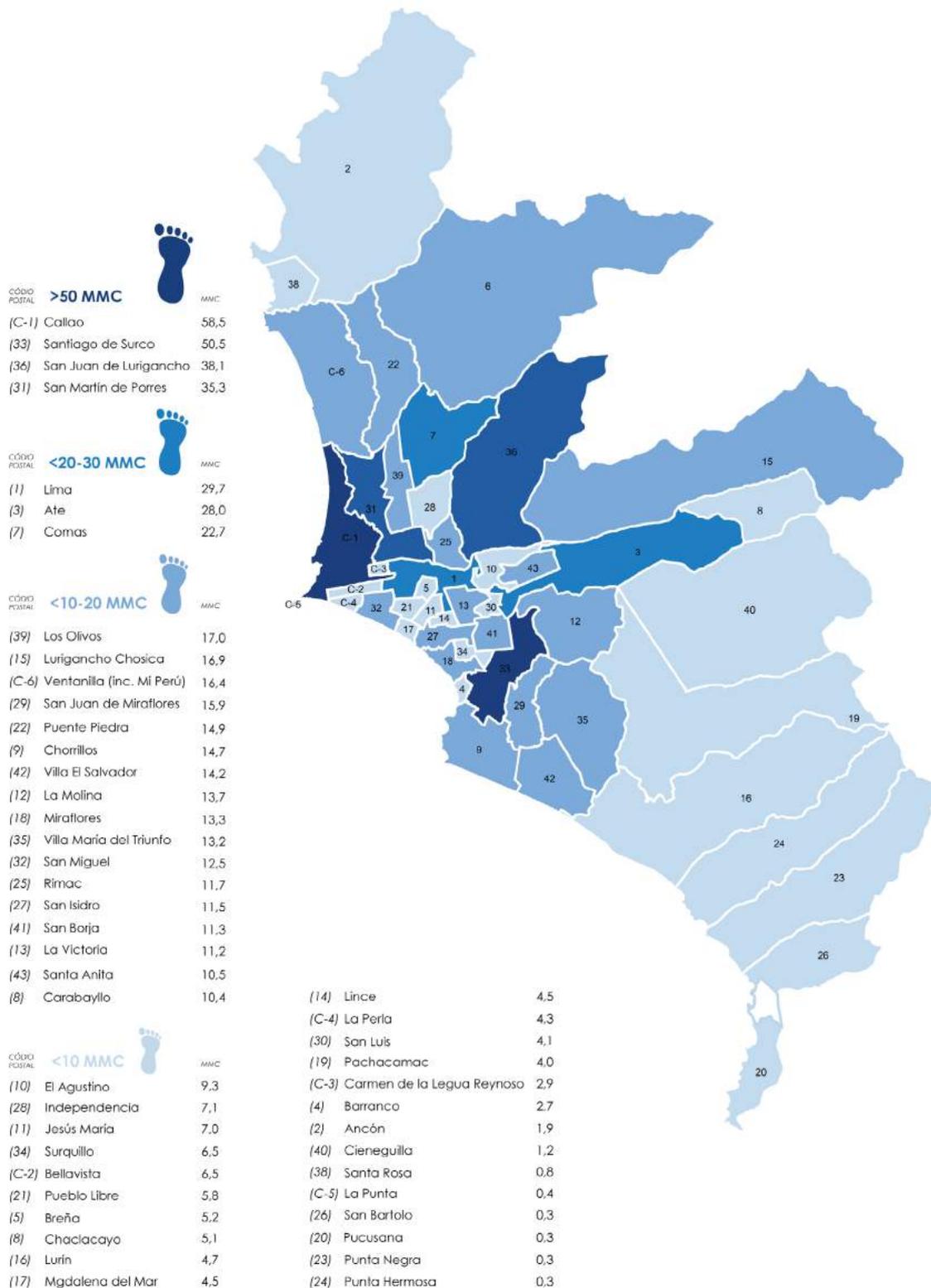


Del análisis de los datos, podemos observar que:

- El 50% de la HH Azul de Lima Metropolitana está representada por 8 distritos: Callao, Santiago de Surco, San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Lima, Ate, Comas y Los Olivos.
- Los distritos costeros presentan una menor HH Azul porque tienen menor población y su actividad (así como el uso y consumo del agua) se incrementa en los meses de verano por la concurrencia de visitantes con fines recreativos.

En el Mapa 2 podemos apreciar la distribución espacial de la HH Azul total en Lima Metropolitana. A continuación, se describe la HH Azul directa de cada sector.

Mapa 2. Huella Hídrica Azul Total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

#### 4.1.1 HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR RESIDENCIAL HH AZUL RESIDENCIAL

La HH Azul del sector residencial para el año 2016 fue de **348 MMC**, que representa el 54% de la HH Azul total de los usuarios de Lima Metropolitana.

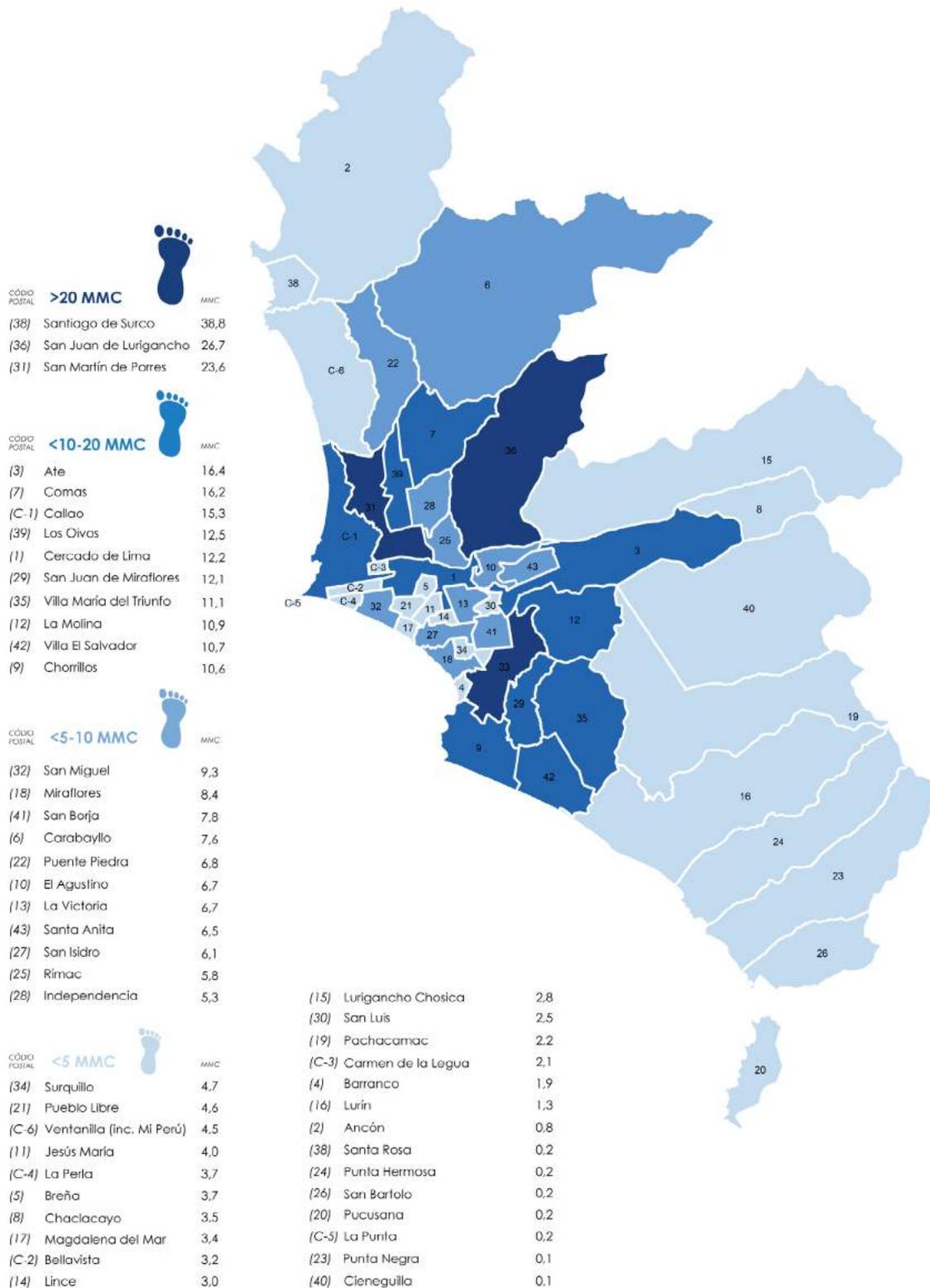
El sector residencial es definido como el sector urbano de viviendas cuyo consumo de agua está determinado por el factor climático, social y económico (Manco Silva et al., 2012). Para el sector residencial de Lima Metropolitana los factores que determinan la HH Azul son:

- a) Densidad poblacional: Lima Metropolitana es el área más extensa y poblada del Perú, incluso, una de las mayores a nivel latinoamericano con aproximadamente 3 329 habitantes por km<sup>2</sup>.
- b) Volumen de agua utilizada y el porcentaje de tratamiento del agua residual: casi el 80% del agua facturada sale de la cuenca por no ser reusado o tratada.
- c) Superficie de áreas verdes privadas: que supone una mayor demanda de agua para riego.

El Mapa 3 muestra la HH Azul del sector residencial por distrito. Santiago de Surco es el distrito con mayor HH Azul residencial (38,79 MMC), principalmente por ser uno de los distritos con mayor población y, por lo tanto, una mayor facturación de agua, así como por contar con la mayor cantidad de áreas verdes privadas. Le sigue San Juan de Lurigancho (HH Azul 26,7 MMC), sobre todo por ser el distrito más poblado de Lima (INEI, 2014).



**Mapa 3. Huella Hídrica Azul del sector residencial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)**



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

#### 4.1.2 HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR COMERCIAL - HH AZUL COMERCIAL

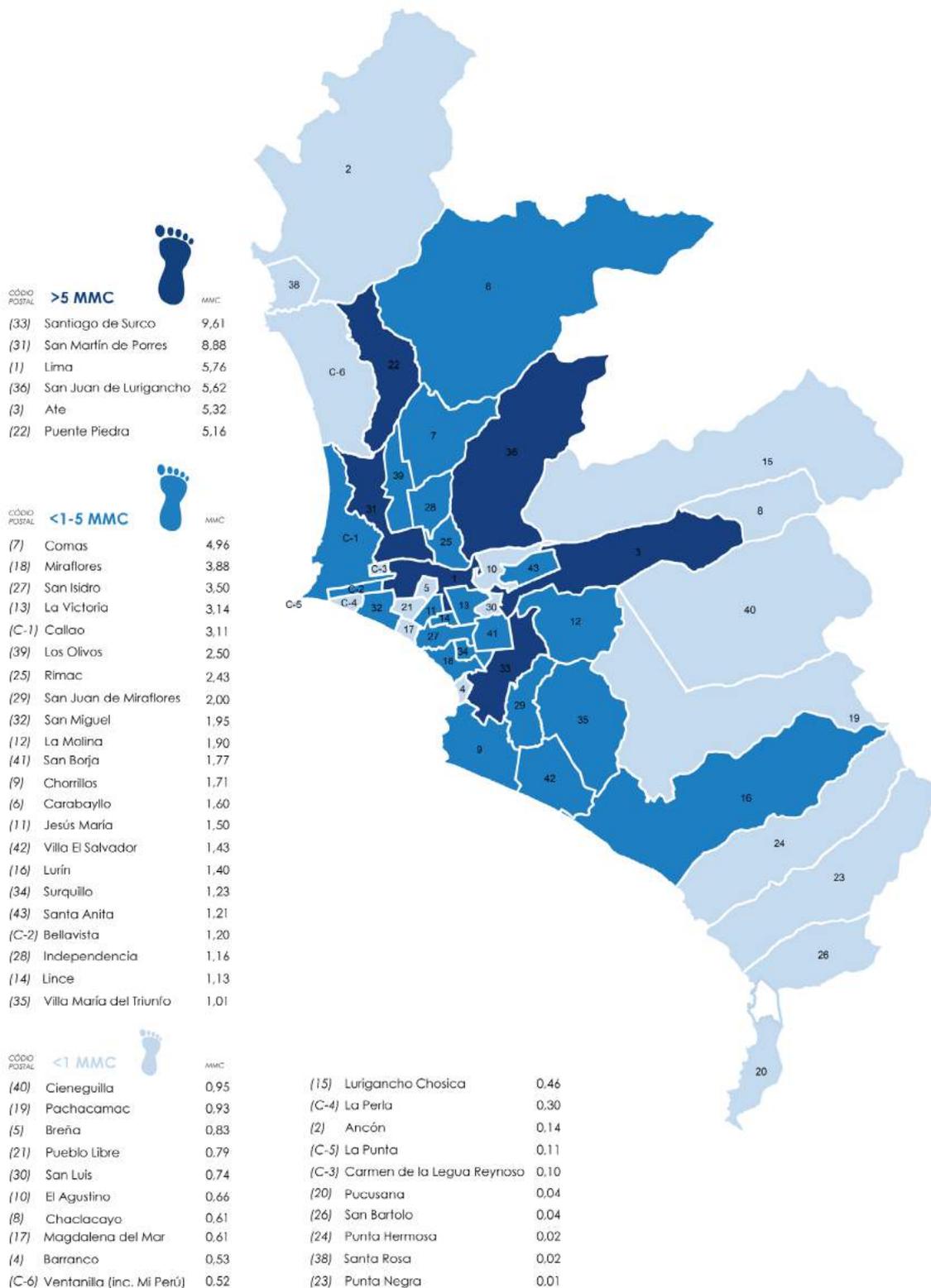
La HH Azul del sector comercial para el año 2016 fue de **95 MMC**, que representa el 15% de la HH Azul Total de los usuarios de Lima Metropolitana.

El sector comercial fue definido por los comercios presentes en Lima Metropolitana (MINTRA, 2016) como son venta de productos agroindustriales, abastecimiento de productos pecuarios, venta de vehículos, textiles, entre otros. La HH Azul de este sector fue determinada por a) el volumen de agua facturado y b) el número de trabajadores. Es importante mencionar que el alto índice de informalidad laboral de Lima influyó significativamente en los resultados.

El Mapa 4 muestra la HH Azul del sector comercial por distrito. San Martín de Porres y Santiago de Surco son los distritos con mayor valor (9,6 y 8,8 MMC, respectivamente). Por otro lado, los distritos de costeros como La Perla, Ancón, Pucusana, San Bartolo, Punta Negra y Punta Hermosa, son los que presentan una HH Azul casi nula.



Mapa 4. Huella Hídrica Azul del sector comercial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

### 4.1.3 HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR INDUSTRIAL - HH AZUL INDUSTRIAL

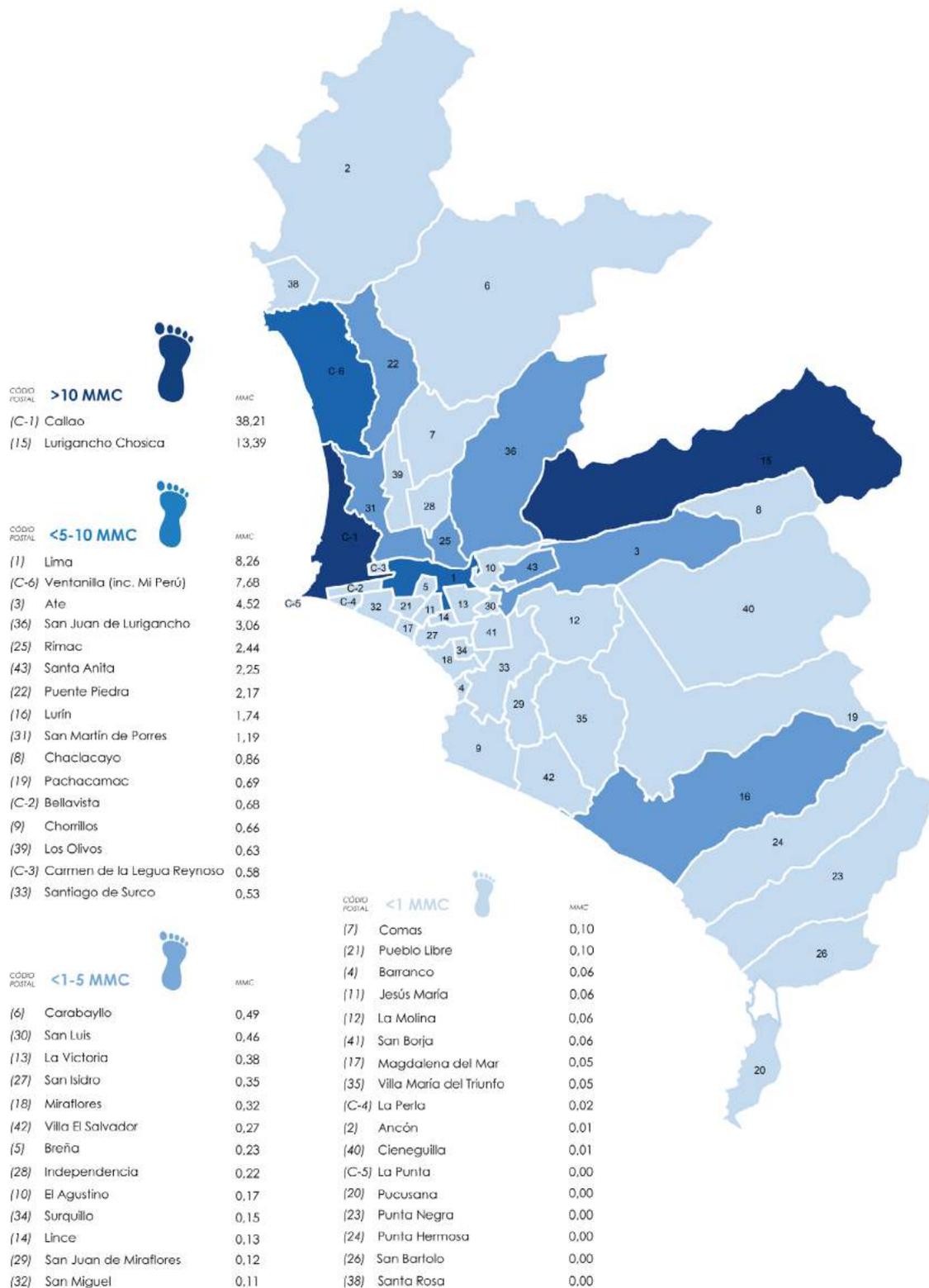
La HH Azul del sector industrial para el año 2016 fue de **94 MMC**, que representa el 15% de la HH Azul Total de los usuarios de Lima Metropolitana.

El sector industrial agrupa a aquellos consumidores cuyo rubro ha sido asignado como tal por instituciones oficiales como la SUNAT o estén clasificados como tipo de consumidor industrial en la base de datos de SEDAPAL o ANA. Así se tiene, por ejemplo, las industrias manufactureras, madera, química, de bebidas y/o alimentos, entre otras, presentes en Lima Metropolitana. La HH Azul de este sector fue determinado por a) la asignación de la tasa de consumo de agua según el tipo de industria tales como: madera, químicos, bebidas o alimentos, entre otros, y b) el volumen de agua utilizado.

El Mapa 5 muestra la HH Azul del sector industrial por distrito. Callao y Lurigancho Chosica son los distritos que con mayor HH Azul industrial (38 y 13 MMC, respectivamente). Ello debido a que concentran mayores zonas industriales y, en conjunto, representa el 55% de la HH Azul industrial.



**Mapa 5. Huella Hídrica Azul del sector industrial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)**



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

#### 4.1.4 HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR PÚBLICO (MUNICIPAL) – HH AZUL PÚBLICO

**Gráfico 4. Huella Hídrica Azul del sector Público de los distritos de Lima Metropolitana**



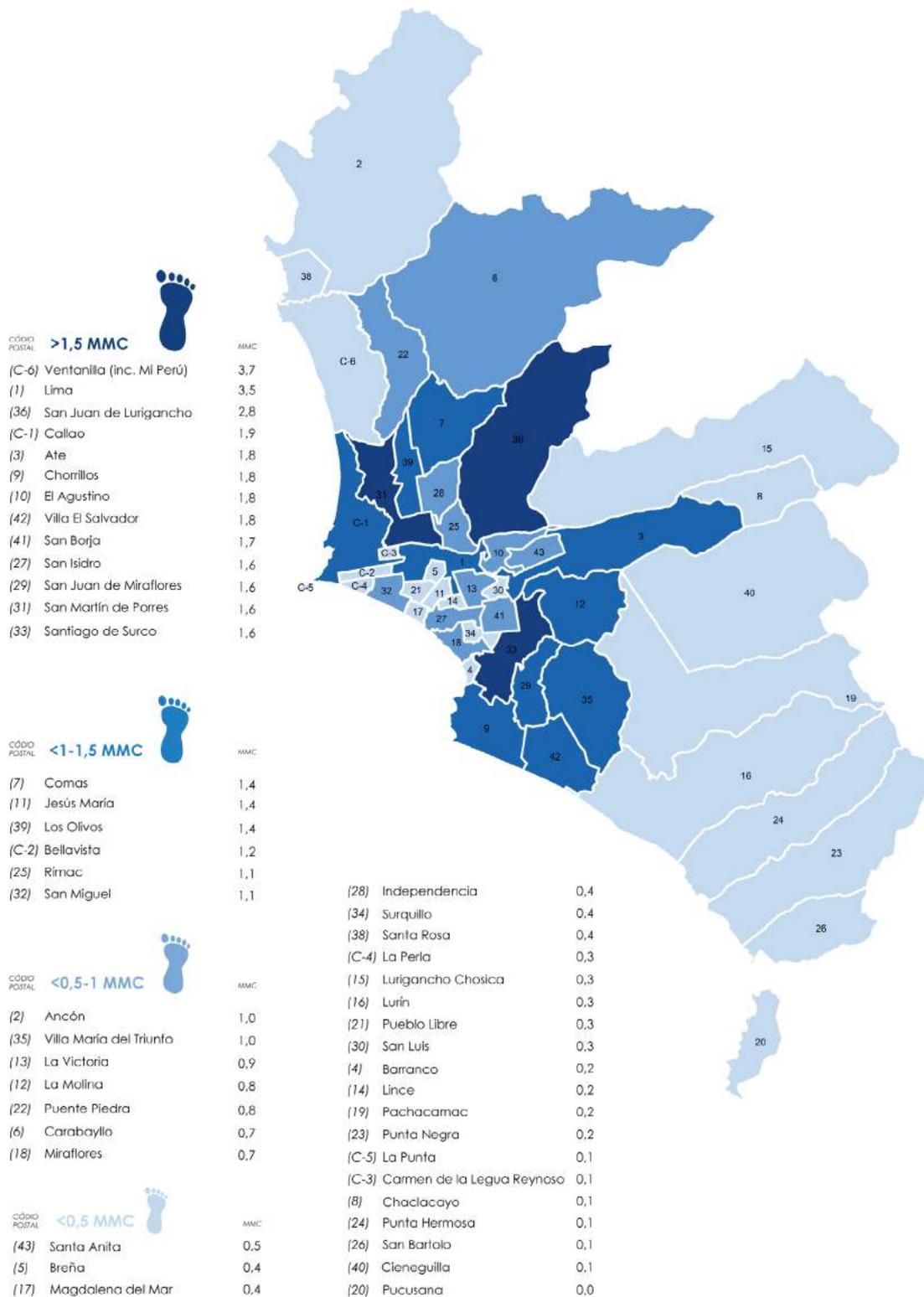
La HH Azul del sector público para el año 2016 fue de **46 MMC**, que representa el 7% de la HH Azul Total de los usuarios de Lima Metropolitana.

El sector público fue definido por el uso del agua por parte de las municipalidades para el riego de áreas verdes públicas y otras actividades diferentes al riego (como limpieza de áreas públicas y de vehículos municipales, agua de piletas, servicios higiénicos, uso en las instalaciones municipales, entre otros).

El Mapa 6 muestra la HH Azul del sector público por distrito. Ventanilla y Cercado de Lima son los distritos con mayor HH Azul público (3,7 y 3,5 MMC, respectivamente). Del total de la HH Azul del sector público, 47% corresponde al riego de áreas verdes y 53% a otras actividades. En el Gráfico 4, se puede observar que la contribución de la HH Azul del riego varía significativamente entre los distritos y es mayor en La Molina con un 97% y menor en La Victoria con un 1,5%.

■ HH Azul del riego  
■ HH Azul sin riego

Mapa 6. Huella Hídrica Azul del sector público de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

#### **4.1.5 HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR AGRÍCOLA**

La HH Azul del sector agricultura para el año 2016 fue de 57 MMC, que representa el 9% de la HH Azul Total de los usuarios de Lima Metropolitana.

La agricultura en Lima Metropolitana se practica en zonas periféricas al norte, este y sur de la ciudad de Lima, y más ampliamente en los distritos de Carabaylo, Puente Piedra, Pachacamac, Lurín y Lurigancho Chosica, entre otros (Observatorio del Agua, 2016). Al ser una actividad periurbana, el cálculo se realizó a nivel global para Lima Metropolitana, y no a nivel distrital.



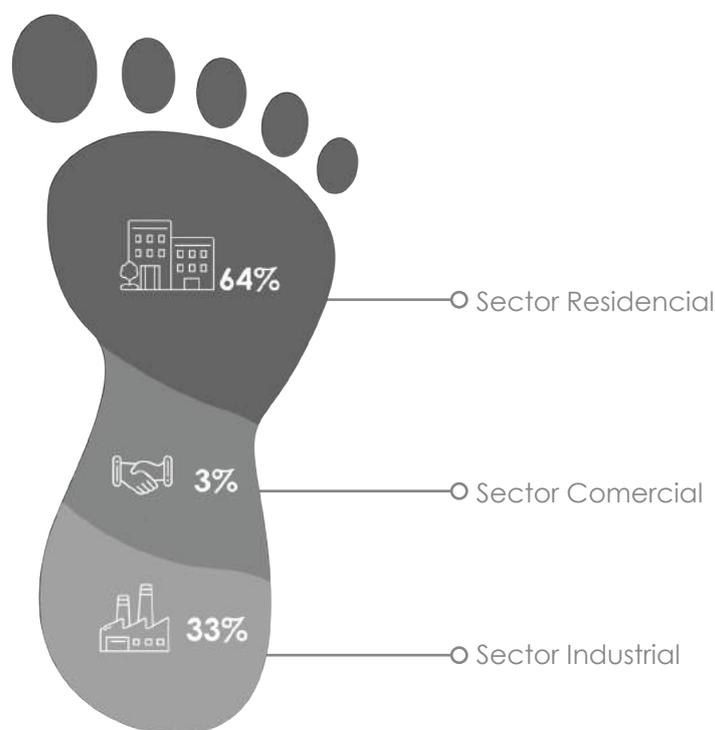
## 4.2. HUELLA HÍDRICA GRIS

La Huella Hídrica Gris (HH Gris) es el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes a un nivel aceptable en base a los estándares de calidad establecidos en la normativa peruana. Para el presente estudio, se calculó la Huella Gris usando la DBO – Demanda Bioquímica de Oxígeno – como contaminante crítico.

La HH Gris total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 fue de 1 768 MMC: más del doble del volumen de agua que trae el río Rímac al año para diluir los contaminantes a un nivel aceptable en base a los estándares de calidad establecidos en la normativa peruana.

En el Gráfico 5, se puede observar que, en general, el sector residencial fue el que más contribuyó con la HH Gris con 64%, mientras que el sector industrial y comercial representa el 33% y 3%, respectivamente. Los cálculos de la HH Gris para cada sector se encuentran en el Anexo 6.

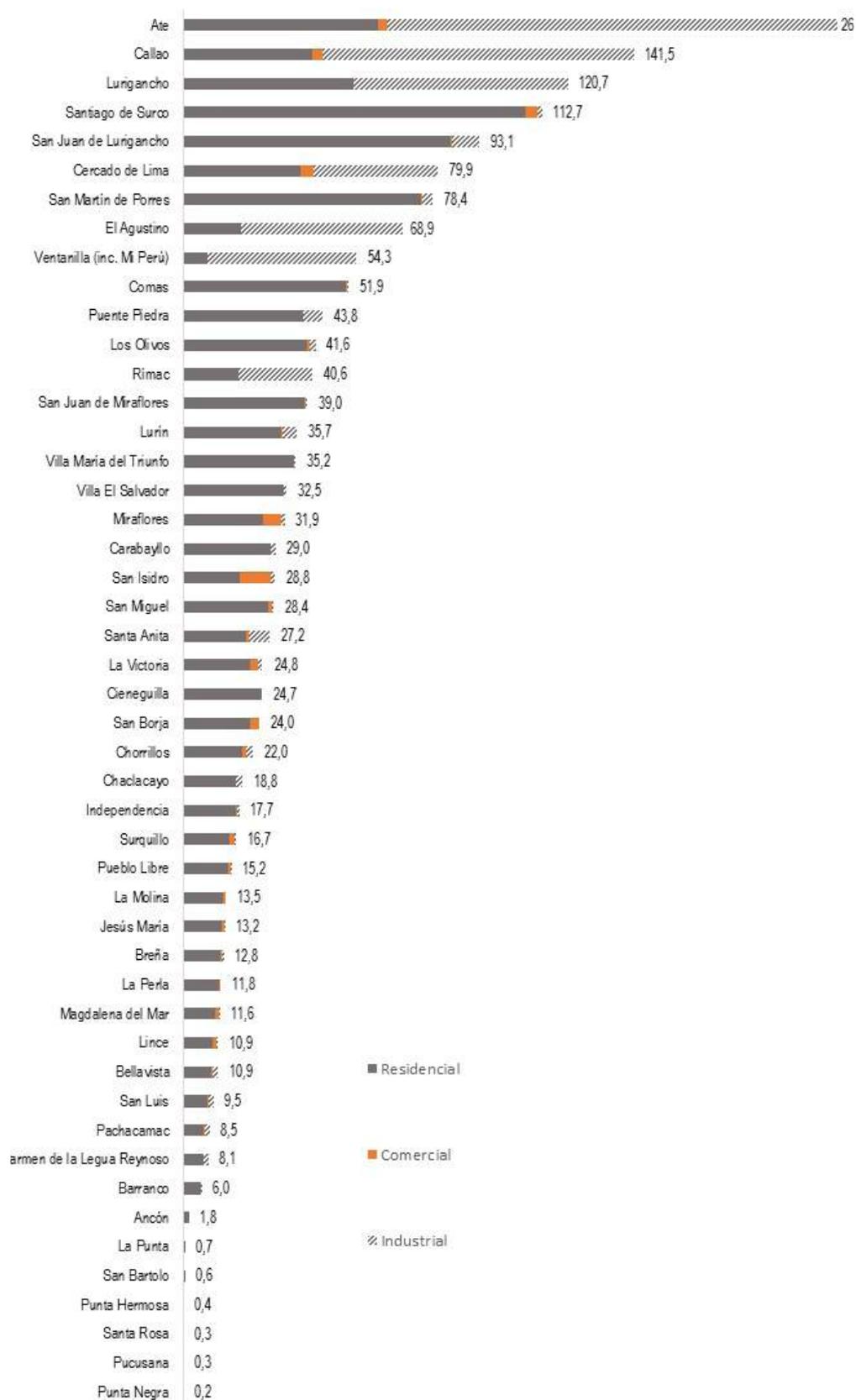
**Gráfico 5. Huella Hídrica Gris de los usuarios de Lima Metropolitana por sectores (%)**



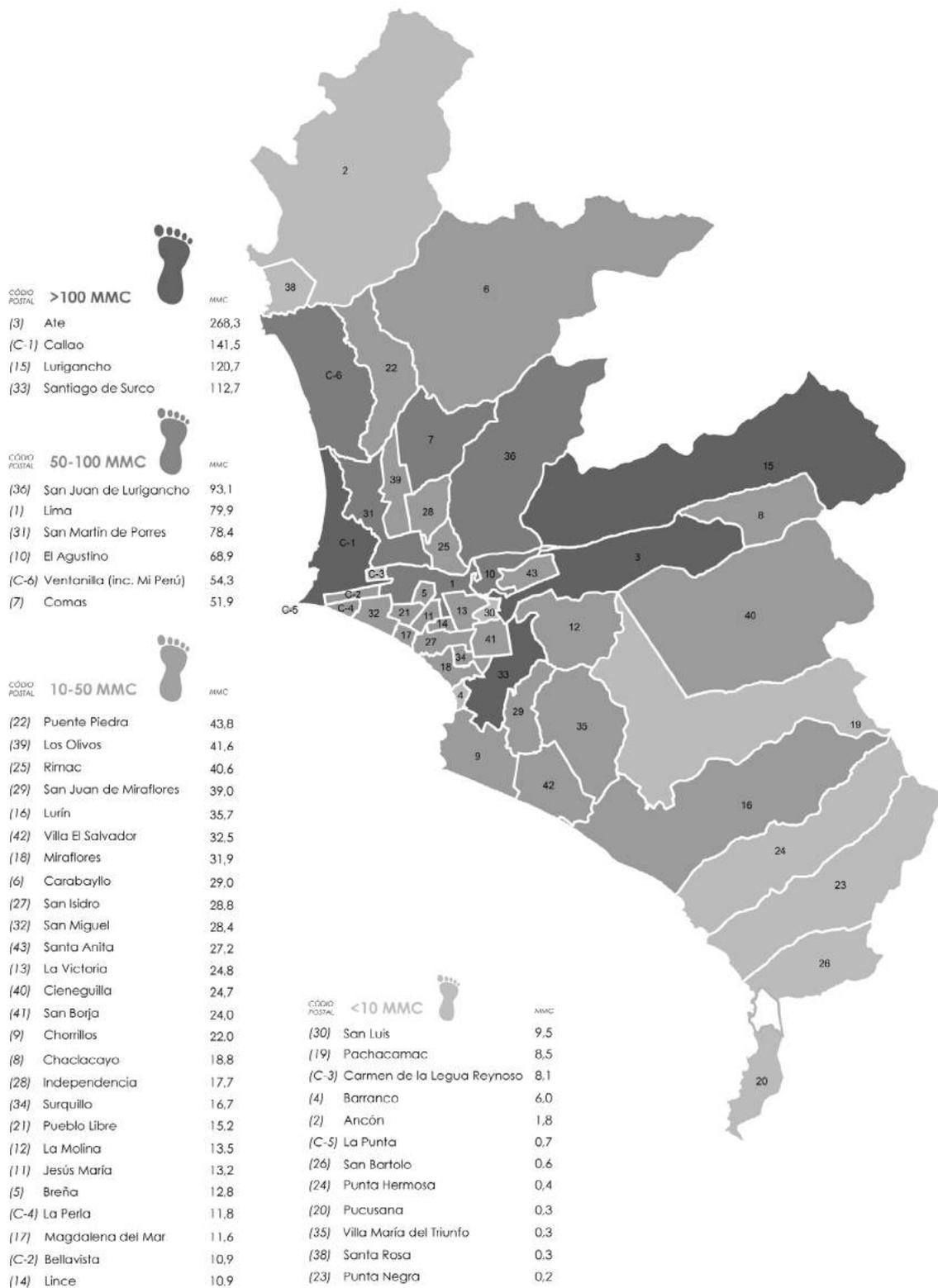
Cabe destacar que esta situación es independiente para cada distrito. Por ejemplo, para Ate, Callao y Lurigancho Chosica la mayor contribución a la HH Gris fue del sector industrial con más del 50% por tener más zonas industriales, como se puede apreciar en el Gráfico 6.

En el Mapa 7, se puede observar la HH Gris total por distrito. Los factores que determinan este indicador son el volumen total del efluente generado que se trata en las PTARs zonales o que se descarga a los ríos sin tratamiento y la distribución a estos dos flujos. En el caso de Ate, El Agustino, Lurigancho Chosica, Ventanilla y Lima se vierten grandes volúmenes de aguas residuales sin tratamiento a los ríos, lo que genera que la HH Gris aumente en cada uno de ellos. Mientras que, en el Callao, la HH Gris es alta no por falta de tratamiento del agua residual, sino por tener un gran volumen de efluente en general.

**Gráfico 6. Huella Hídrica Gris por distrito y por sector (MMC)**



Mapa 7. Huella Hídrica Gris total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

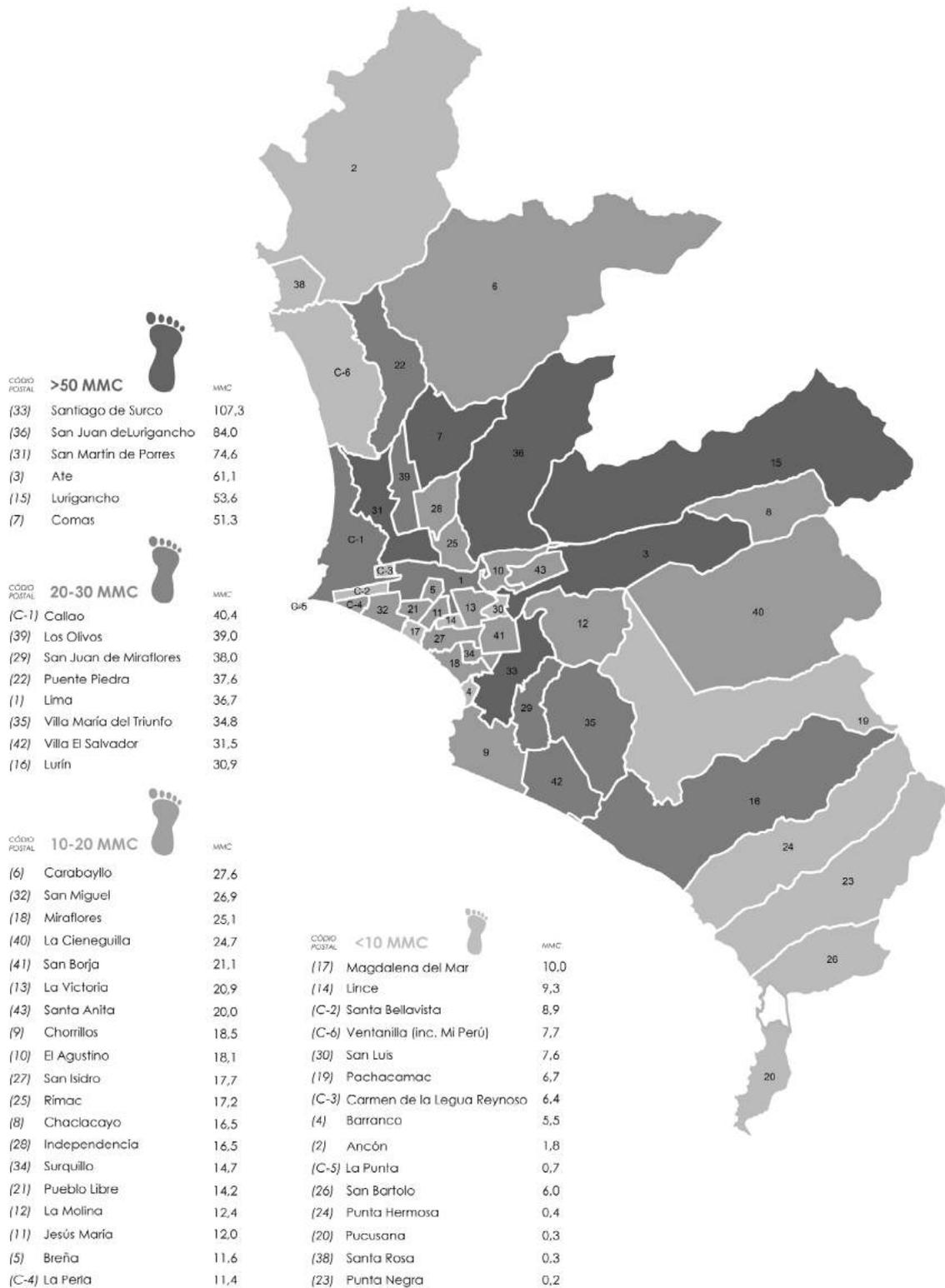
#### 4.2.1 HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR RESIDENCIAL – HH GRIS RESIDENCIAL

La HH Gris residencial para el año 2016 resultó en 1 134 MMC, que representa el 64% de la HH Gris total de los usuarios de Lima Metropolitana.

El sector residencial es definido como el sector urbano de viviendas cuya HH Gris está determinada por el tamaño de la población del distrito: mayor población, mayor generación de efluentes. Este es el caso de los distritos de San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres y Santiago de Surco, que son los distritos más poblados de Lima Metropolitana, y por lo tanto presentan mayor HH Gris residencial.



**Mapa 8. Huella Hídrica Gris del sector residencial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)**



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

#### **4.2.2 HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR COMERCIAL - HH GRIS COMERCIAL**

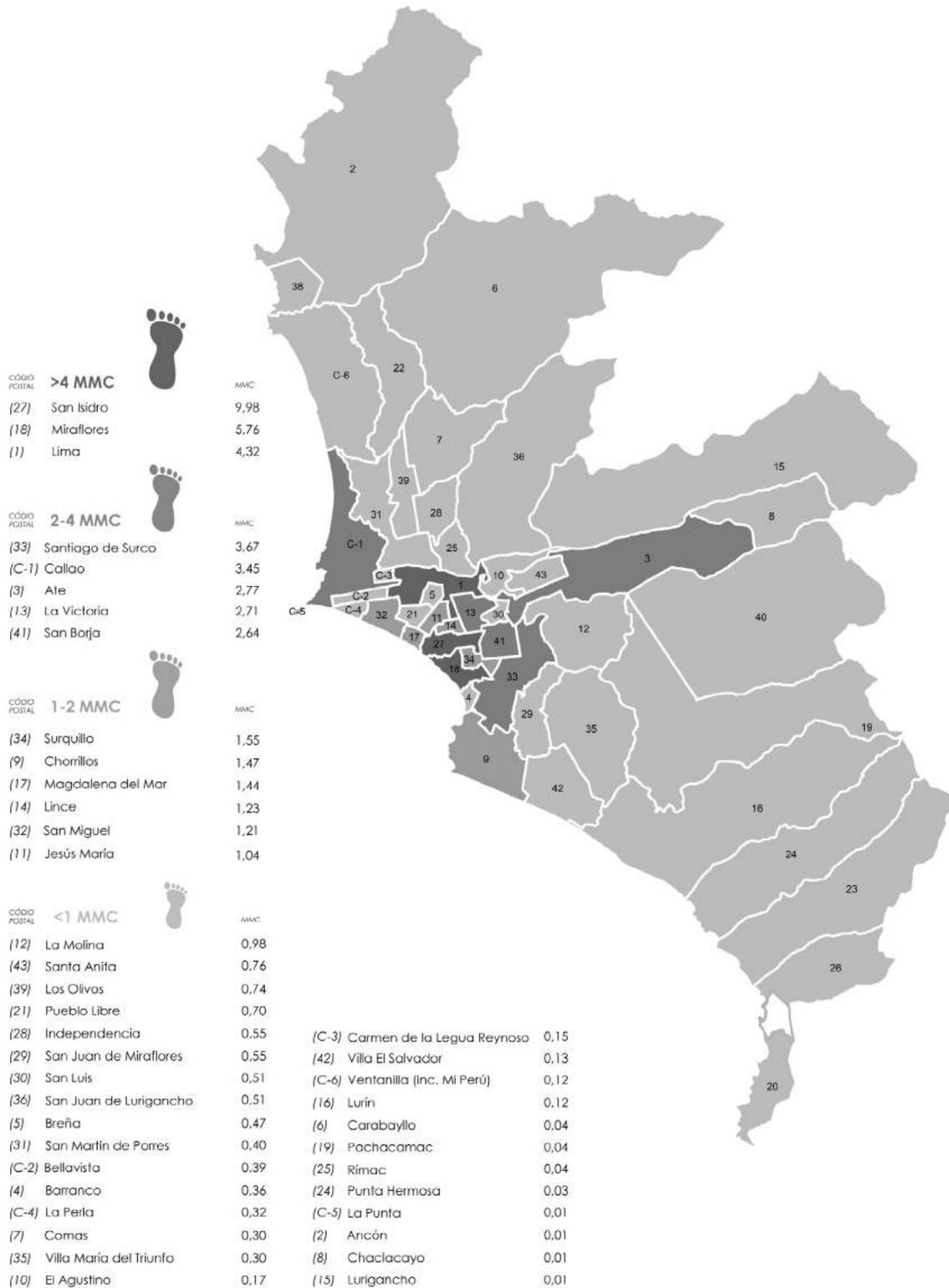
La HH Gris comercial para el año 2016 fue de 52 MMC, que representa el 3% de la HH Gris Total de los usuarios de Lima Metropolitana.

El sector comercial fue definido por los comercios presentes en Lima Metropolitana (MINTRA, 2016) como son venta de productos agroindustriales, abastecimiento de productos pecuarios, venta de vehículos, textiles, entre otros. La HH Gris es mayor en los distritos que presentan mayor actividad comercial (cuantificado a través del volumen de agua facturado al sector). Sin embargo, es muy probable que se haya subestimado la HH Gris comercial por falta de información exacta sobre el número de trabajadores formales e informales.

Como se puede ver en el Mapa 9, Miraflores y San Isidro por lejos tienen mayor HH Gris comercial, sin embargo, probablemente también presentan un mayor porcentaje de trabajadores registrados en planilla en comparación con otros distritos menos céntricos.



Mapa 9. Huella Hídrica Gris del sector comercial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

#### 4.2.3 HUELLA HÍDRICA GRIS DEL SECTOR INDUSTRIAL – HH GRIS INDUSTRIAL

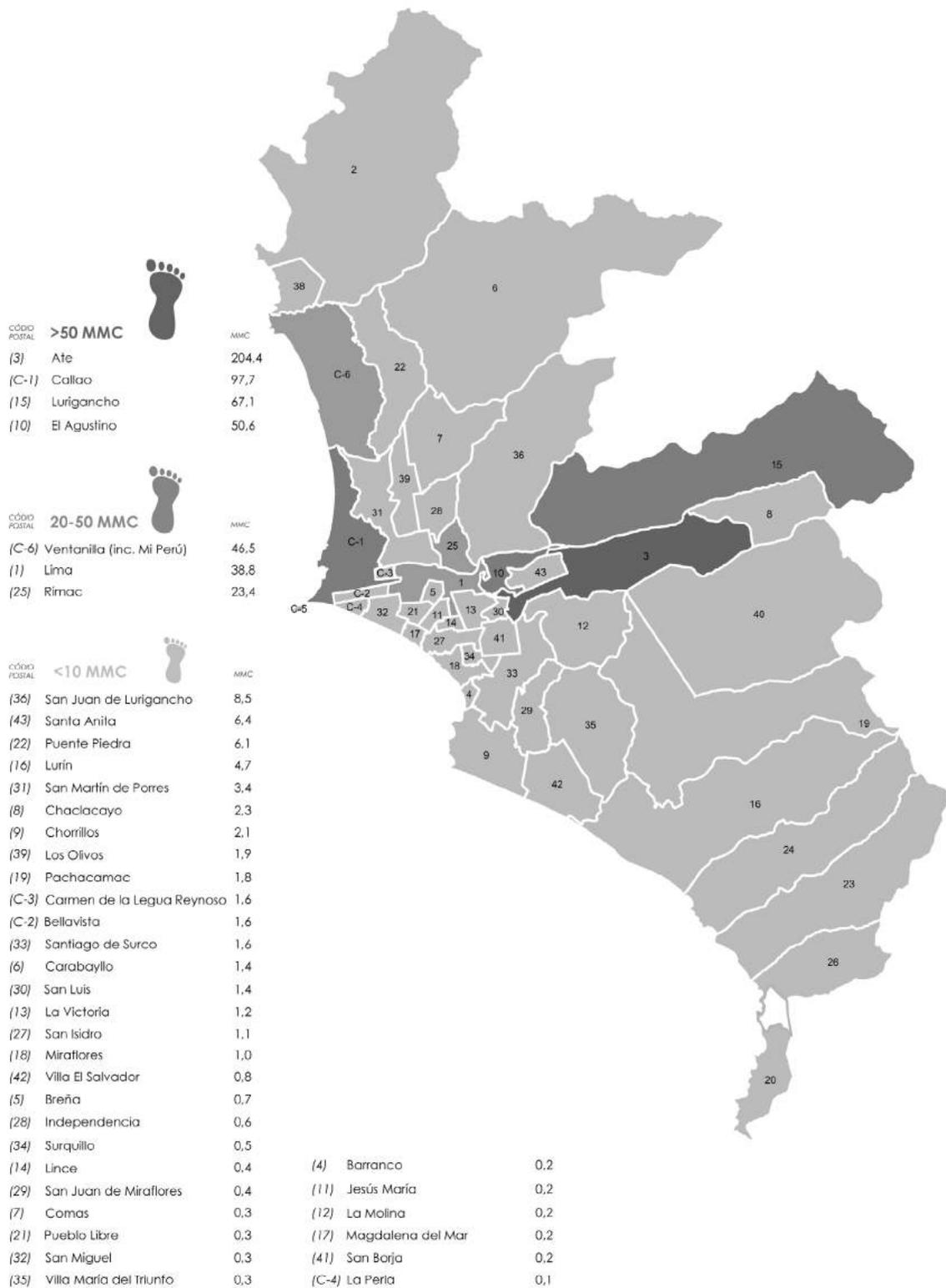
La HH Gris industrial para el año 2016 fue de 582 MMC, que representa el 33% de la HH Gris Total de los usuarios de Lima Metropolitana.

El sector industrial fue definido por las industrias presentes en Lima Metropolitana como son industrias manufactureras, madera, química, de bebidas y/o alimentos, entre otros. La HH Gris de este sector fue determinada por el volumen del efluente y el destino del desagüe.

En el Mapa 10 se puede apreciar que el 80% de este valor proviene del uso industrial en sólo 4 distritos: Ate, Lurigancho Chosica, El Agustino y Callao.



Mapa 10. Huella Hídrica Gris del sector industrial de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)



Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.



## 5.

## ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

**5.1 SOSTENIBILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL EN RELACIÓN A DISPONIBILIDAD DE AGUA AZUL**

Para evaluar la sostenibilidad temporal y espacial de la HH Azul directa en una región o cuenca, se debe comparar la huella azul con la disponibilidad de agua azul en el ámbito considerado. Hoekstra et al (2011) propone una metodología para determinar la disponibilidad de agua azul, que básicamente resta el caudal ecológico de la escorrentía natural. Siguiendo esta lógica, se puede extraer agua de un río para los diferentes usos hasta llegar a un caudal mínimo necesario para mantener los servicios ecosistémicos del río. Para determinar el caudal ecológico, se suelen aplicar diferentes fórmulas, por ejemplo, el 80% del caudal (mensual) natural, o el caudal de 95% de persistencia. En todo caso, el caudal así reservado para la protección o conservación de los ecosistemas constituye una gran parte de la escorrentía total y por consecuencia, disminuye la disponibilidad teórica de agua azul de manera significativa (< 20% de la escorrentía). Para regiones con un clima árido a semiárido, que frecuentemente albergan ríos con un régimen de escorrentía muy variable, que en muchos casos son las fuentes principales para abastecer grandes ciudades con agua, el concepto de caudal ecológico para determinar la disponibilidad de agua azul no parece aplicable.

En el caso de Lima, la necesidad de abastecer la ciudad con agua potable extraída del río Rímac es primordial frente al requerimiento de salvaguardar los servicios ecosistémicos del río aguas abajo de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de la Atarjea. Por consecuencia, en el marco del presente estudio, se determinó la disponibilidad de agua azul en el dominio de Lima Metropolitana en base a la metodología Water Accounting Plus (Karimi et al, 2013) desarrollada por el Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI por sus siglas en inglés).

Esta metodología establece un balance hídrico en el dominio de contabilidad entre todos los flujos entrantes de agua azul y los flujos salientes, así como los volúmenes de agua agotados luego del uso. Este último representa: a) el volumen de agua consumido por evaporación durante el uso o incorporación durante el proceso de producción de bienes, y b) el volumen de agua azul que, luego de ser utilizado, ingresa a un cuerpo de agua contaminada o salada (mar), haciendo su recuperación como agua azul (dulce) imposible. En este contexto es importante destacar que el volumen de agua azul agotado (agua azul consumido y agua azul no recuperable) corresponde al volumen de la Huella Hídrica Azul directa en el dominio.

El Gráfico 7 muestra los resultados de la contabilidad del agua para el año 2016. Los datos de los flujos entrantes fueron compilados y analizados por el Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín. Los datos sobre los diferentes usos y consumos del agua azul utilizada son los mismos que se analizaron para los cálculos de las diferentes huellas hídricas azul presentadas en el capítulo anterior. Los flujos y balances se establecieron al nivel mensual para el año 2016.

**Gráfico 7. Contabilidad del Agua en el dominio de Lima Metropolitana (2016)**



Fuente: Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín, en base a datos de 2016

Donde:

- **“Flujo entrante río Rímac, Chillón y Lurín (Escorrentía natural)”**: descarga natural del río, excluyendo los aportes del sistema de regulaciones.
- **“Flujo entrante río Rímac (Escorrentía regulada)”**: aporte del sistema de regulaciones de la cuenca del río Rímac.
- **“Trasvase del Mantaro hacia el río Rímac”**: aporte de la cuenca del Mantaro a la descarga del río Rímac.
- **“Flujo entrante agua subterránea”**: volumen que se puede extraer del acuífero bajo la premisa de no reducir la reserva total a largo plazo (caudal sostenible).
- **“Agua Azul entrante (superficial y subterránea)”**: suma de todos los flujos entrantes.
- **“Agua Azul disponible (captable)”**: volumen que está disponible para ser utilizado por los usuarios en Lima Metropolitana. Para determinar este flujo se restó el “Flujo saliente no utilizable (no-captable en época de avenida o reservado)” del volumen total de agua entrando a Lima Metropolitana.
- **“Agua Azul utilizada (captada)”**: volumen de agua que puede ser consumida durante el uso (“Flujo consumido”), descargada a la red de alcantarillado y pasar por un tratamiento primario para ser descarga al océano (“Flujo utilizado y no recuperable”), retornar al río sin ningún tratamiento (“Flujo de retorno contaminado”) o regresar con buena calidad a un cuerpo de agua (“Flujo de retorno”).
- **“Flujo consumido”**: volumen de agua consumido durante el uso.
- **“Flujo utilizado y no recuperable (ingresando al océano)”**: agua que ingresa a la red de desagüe de Lima y es llevada a una de las PTARs Taboada o Chira, donde será tratada de manera preliminar y, posteriormente, descargada al océano. Este flujo se considera no recuperable, porque al ingresar el agua dulce al mar, pierde su calidad de agua dulce y forma parte del océano.
- **“Flujo de retorno contaminado”**: el agua que se vierte a un río sin tratamiento alguno (vertimientos ilegales).
- **“Flujo de retorno”**: volumen de agua que ingresa a la red de desagüe de Lima y es llevada a una de las PTARs zonales que tratan el agua antes de regresarla al río. Se suman adicionalmente el volumen de agua que infiltra al acuífero de áreas agrícolas y áreas verdes regadas.
- **“Flujo saliente utilizable (no captado)”**: agua que podría ser captada porque existe suficiente capacidad de captación, pero no se utiliza porque no en todos los periodos hay tanta demanda y por eso permanece en el cuerpo de agua natural.

- **“Flujo saliente no utilizable (no captable en época de avenida o reservado)”**: volumen de agua que no puede ser captado por exceder la capacidad de captación de los diferentes usuarios de agua.
- **“Flujo de salida”**: volumen de agua que deja la cuenca en forma de un flujo de agua superficial o subterránea. Suma del **“Flujo de retorno”**, **“Flujo saliente utilizable (no captado)”** y el **“Flujo saliente no utilizable”**.

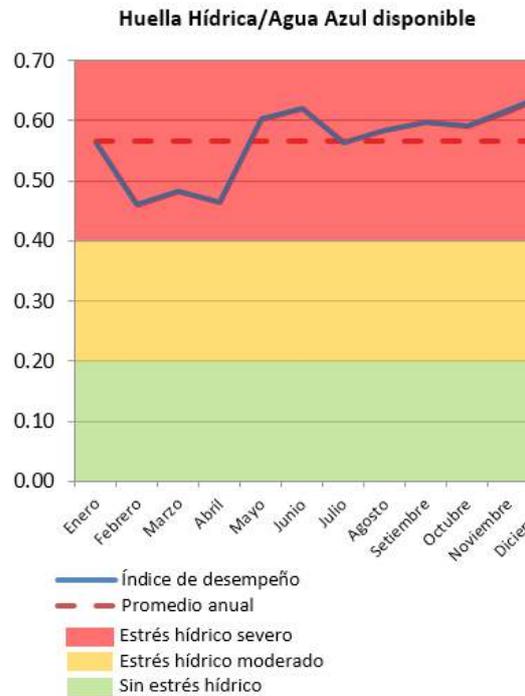
De acuerdo a los datos del Gráfico 7, para el año 2016 del total de Agua Azul entrante (1 339 MMC), 60% (802 MMC) provienen del río Rímac, 21% (283 MMC) del agua subterránea, 12% (165 MMC) del río Chillón y 7% (90 MMC) del río Lurín. El 32% (253 MMC/a) del caudal del río Rímac corresponde al trasvase de aguas de la cuenca del río Mantaro, mientras que un 12% (98 MMC/a) del caudal es agua provista por el sistema de regulaciones del Rímac.

Así también, se puede observar que no todo el volumen del Agua Azul entrante está disponible para los usuarios, porque en la época de avenida el volumen de agua en los ríos es mayor que la capacidad total de captación a través de las plantas de tratamiento de aguas superficiales de SEDAPAL, los canales de riego y bocatomas de otros usuarios. De esta manera, el excedente de agua permanece en los cuerpos de agua como un “Flujo saliente no utilizable”, el cual representa un promedio anual de 14% (189 MMC) del Agua Azul entrante.

Del total del “Agua Azul disponible (captable)” (1150 MMC), 91% (1051 MMC) del agua es utilizado por los usuarios finales y 9% (99 MMC) no es utilizado por falta de demanda (flujo saliente utilizable). Sin embargo, salvo en época de lluvias, durante el resto del año el flujo saliente utilizable y el flujo saliente no utilizable son pequeños y casi la totalidad del agua entrante llega a ser utilizada por los usuarios finales. De esta manera, se puede decir que en épocas de avenida la infraestructura de captación es el factor limitante para la utilización del recurso, mientras en los otros meses el factor limitante es la disponibilidad hidrológica del recurso.

Los resultados de la contabilidad del agua en el dominio de Lima Metropolitana permitieron calcular el ratio “Huella Hídrica Azul/Agua Azul disponible” para cada mes del año considerado (2016), el cual proporciona un indicador sobre el agotamiento del recurso agua, o estrés hídrico. En el Gráfico 8 se muestra la Huella Hídrica Azul (directa) en el dominio como porcentaje del Agua Azul disponible.

**Gráfico 8. Indicador de estrés hídrico – Huella Hídrica Azul/Agua Azul disponible**



Fuente: Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín, en base a datos de 2016

Un promedio anual de 57% del Agua Azul disponible se agota de una forma irrecuperable a través de evaporación, evapotranspiración, incorporación en productos o descarga al océano luego del uso. En el transcurso del año 2016 este índice varió entre 0,46 en febrero y abril y 0,65 en diciembre.

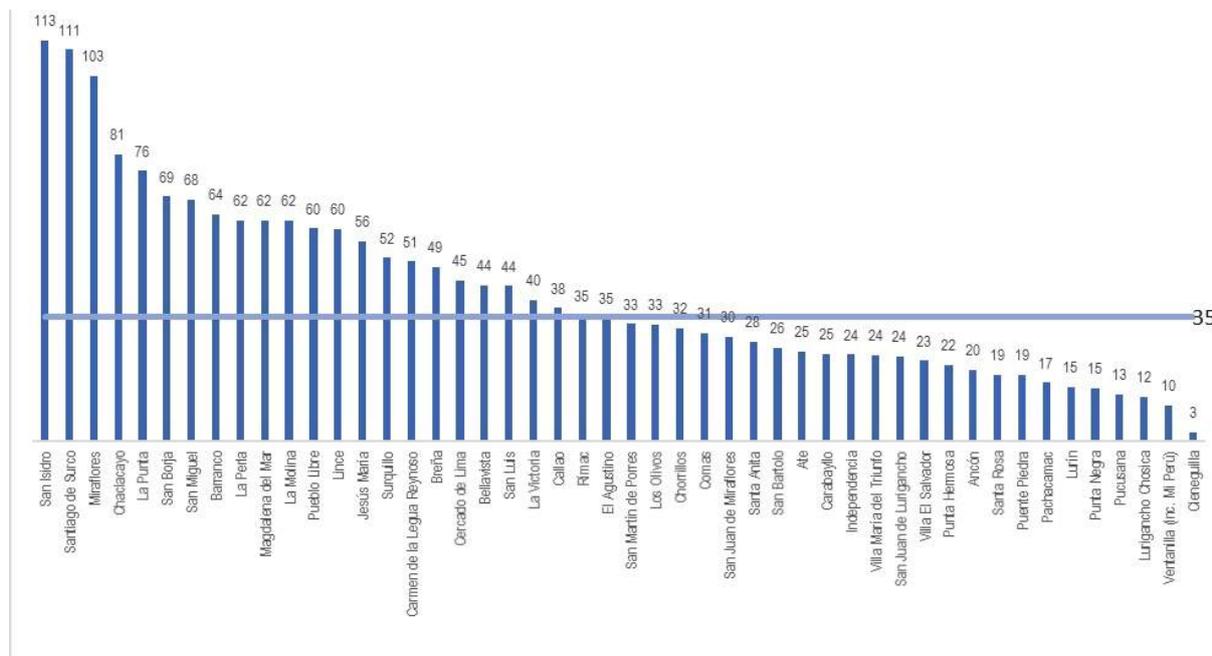
Estudios internacionales utilizan un umbral de 0,2 para definir estrés hídrico moderado y de 0,4 para estrés hídrico severo (Arjen et al., 2012, Hoekstra et al., 2012). El indicador muestra que Lima Metropolitana se encuentra en una situación estrés hídrico severo durante todo el año. Por lo tanto, se puede concluir que la HH Azul directa no es sostenible en ningún mes del año.

## 5.2 SOSTENIBILIDAD SOCIAL

Una manera de evaluar la sostenibilidad social o socio-económica del uso de agua en el dominio (Lima Metropolitana) es comparar la HH Azul residencial per cápita entre los diferentes distritos.

Los resultados para Lima Metropolitana se encuentran en el siguiente gráfico.

**Gráfico 9. Huella Hídrica Azul del sector residencial per cápita por distrito (m³/año)**



De acuerdo a los datos del Gráfico 9, en promedio, un habitante de Lima Metropolitana, como resultado de sus actividades diarias en el hogar, genera una HH Azul per cápita de 35 m³/año. Este valor corresponde a un promedio de volumen de agua utilizada (facturada) per cápita de 42 m³/año (116 l/día) .

Este valor coincide con el promedio del volumen de agua utilizada per cápita calculado para varias ciudades con alto nivel de desarrollo de los países de la OCDE (OCDE, 2014), por lo cual, en el caso de Lima, la HH Azul per cápita de 35 m³/año podría servir como valor referencial. Como se observa en el Gráfico 9, la variación de la HH Azul per cápita a nivel distrital es muy alta, algo que no se observaría en una ciudad con un uso equitativo y sostenible del recurso agua. Los resultados muestran que las zonas que concentran a la población con mayor desarrollo socioeconómico de Lima presentan una HH Azul per cápita más alta en comparación con otras zonas de la ciudad.

Así tenemos, por ejemplo, a San Isidro, con la HH Azul per cápita más alta de 113 m³/persona al año, seguido de Santiago de Surco y Miraflores con 111 y 103 m³/persona al año, respectivamente. Ello sugiere que mientras mayores ingresos económicos se perciben, mayor HH Azul residencial se genera. Mientras en Ventanilla, que es uno de los distritos con consumos más bajos, un habitante genera una HH Azul per cápita de 10 m³/persona al año, casi cuatro veces menos que el promedio de Lima Metropolitana. Seguido de Lurigancho Chosica con 12 m³/persona al año y Pucusana con 13 m³/persona al año. Estos valores no implican necesariamente que se realice un consumo eficiente

del agua, por el contrario, significa que el abastecimiento de agua potable es limitado y/o restringido a una cierta cantidad de horas al día.

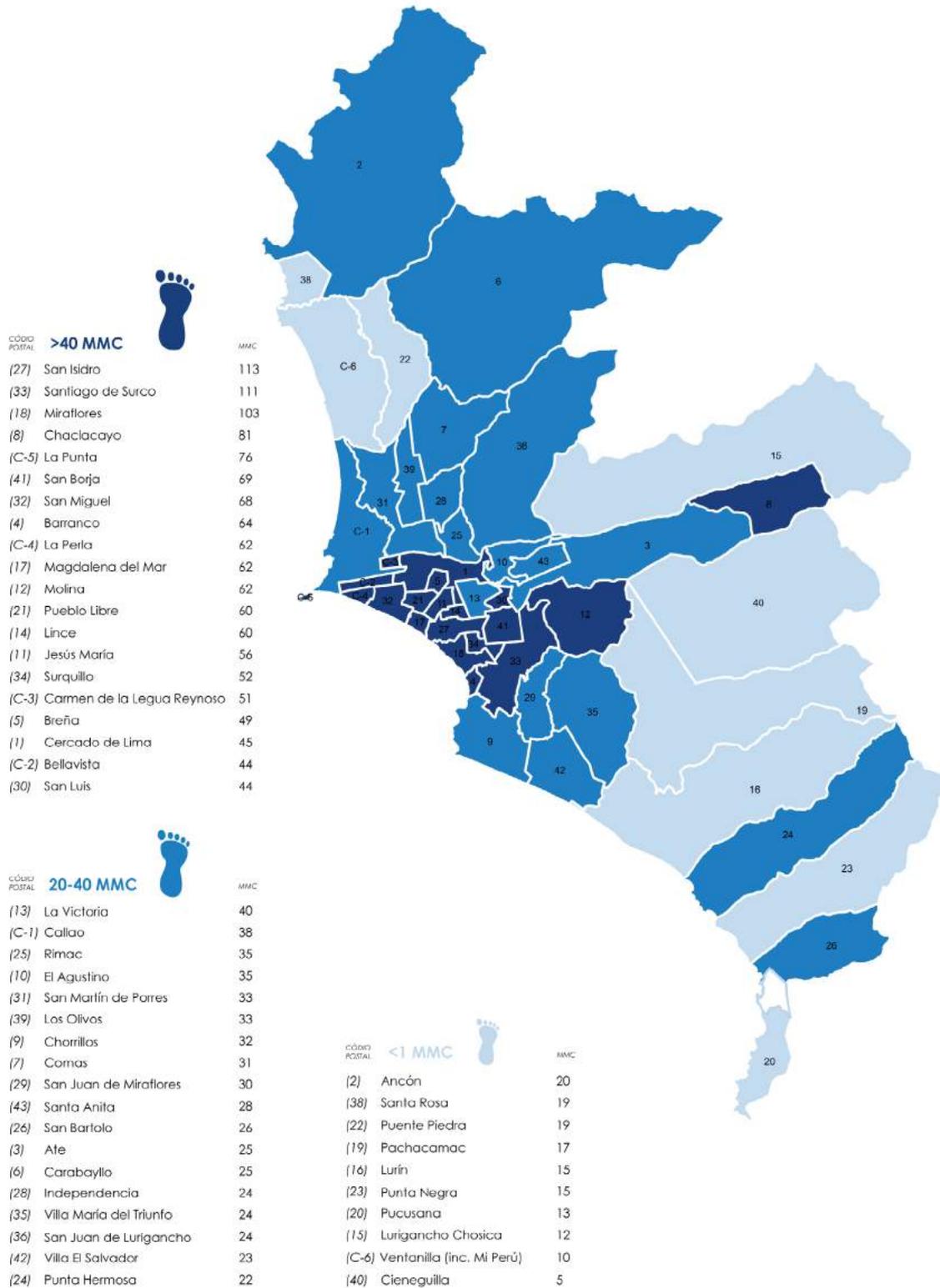
Por otro lado, otro grupo de distritos que presentan valores por debajo del promedio de la HH Azul per cápita son los balnearios ubicados al sur de Lima como: Punta Negra (15 m<sup>3</sup>/persona al año), Punta Hermosa (22 m<sup>3</sup>/persona al año) y San Bartolo (26 m<sup>3</sup>/persona al año), pues el número de población estable es bajo durante el año y suelen ser más concurridos durante los meses de verano con fines recreativos.

Por todo lo expuesto, se puede concluir que la HH Azul per cápita de Lima Metropolitana de un determinado distrito es insostenible socialmente en la medida que su HH Azul per cápita se desvíe del promedio establecido, tanto por encima, como también por debajo del valor promedio referencial. En el Mapa 11, se presenta la distribución geográfica de la HH Azul residencial per cápita.

**<sup>2</sup> En Lima existe una relación entre el volumen de la HH Azul residencial y el volumen de agua utilizada residencial de aproximadamente 0.8. Es decir:  $VolUtilRes \times 0.8 = HH\ Azul\ Res.$**



**Mapa 11. Huella Hídrica Azul residencial per cápita de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 (MMC)**

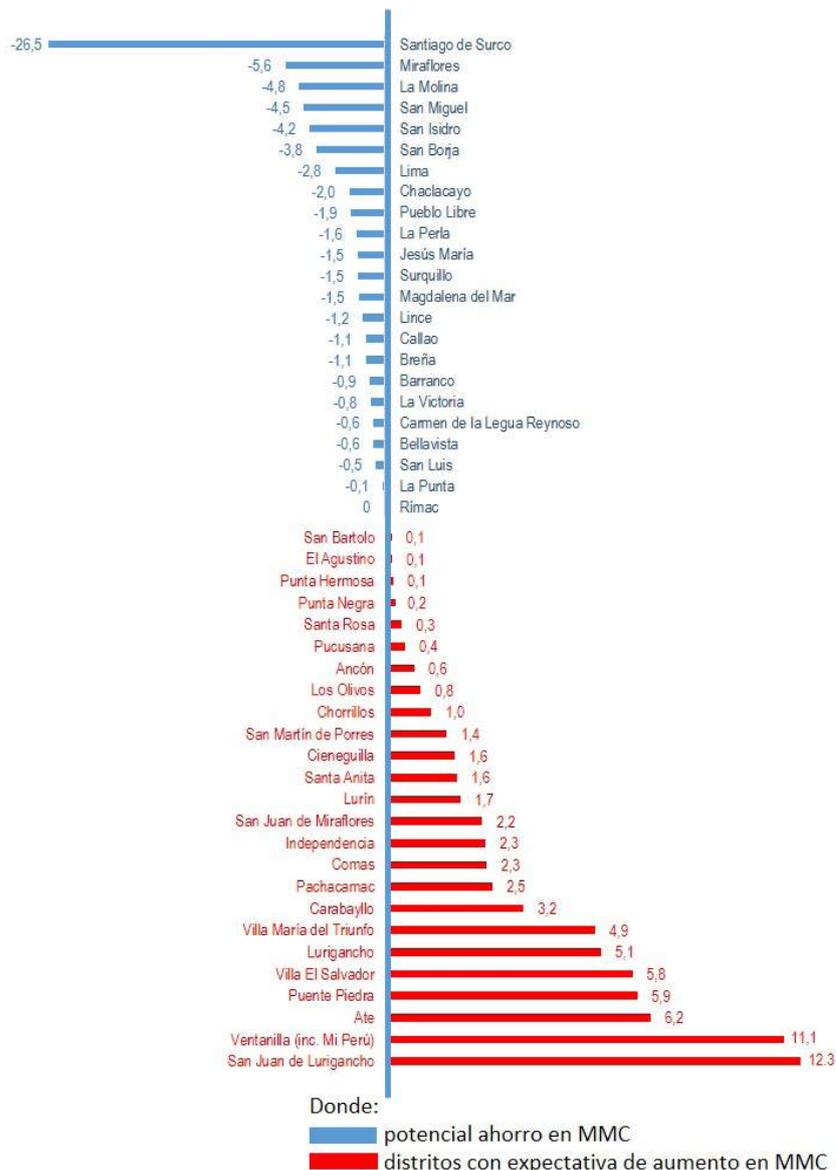


Mapa base IGN(2017): Lima distritos con código postal Lima Metropolitana.

Es importante mencionar que para una mejor gestión los recursos hídricos en el sector residencial, no sólo se deben diseñar estrategias de reducción de la HH Azul residencial destinadas a los distritos con altos valores de HH Azul per cápita, si no también aquellas necesarias que ayuden regular el incremento del aporte a la HH Azul de Lima Metropolitana de los distritos con HH Azul per cápita pequeña y por debajo del valor promedio distrital. Por ejemplo, para llegar al valor referencial establecido para HH Azul per cápita de 35 m³/año, en el caso de San Juan de Lurigancho, con una población de 1,1 millón de habitantes y una HH Azul per cápita actual de 24 m³/año, la HH Azul total de este distrito aumentaría en aproximadamente 12 MMC/a. Este volumen equivale al volumen total agregado de la HH Azul que los distritos de San Isidro, Miraflores y Chaclacayo podrían ahorrar juntos, reduciendo su respectiva HH Azul per cápita hasta llegar al nivel promedio referencial.

El Gráfico 10 muestra la brecha de la HH Azul residencial, tanto positiva como también negativa, de los distritos de Lima Metropolitana que resulta entre la HH Azul actual y el valor que correspondería a cada distrito suponiendo una HH Azul per cápita igual al valor referencial. De esta manera se puede distinguir los distritos con más potencial de ahorro, como también los distritos con más expectativa de aumento respecto a la HH Azul residencial.

**Gráfico 10. Brecha de la Huella Hídrica Azul residencial (MMC)**  
 (¿Cuánto cambiaría la HH Azul si todos los distritos tuvieran una HH Azul de 35 m³ per cápita?)





## 6. CONCLUSIONES

- La Huella Hídrica Azul directa (HH Azul) de Lima Metropolitana para el año 2016 fue de 638 MMC y se ve representada principalmente por el sector residencial (54%) al concentrar un tercio de la población nacional. Le sigue el sector comercial e industrial, ambos con una contribución de 15%. En el sector comercial, el agua no se utiliza como un factor de producción y, respecto al sector industrial, son pocos los distritos que presentan grandes zonas industriales. El sector de agricultura contribuye con 9% en el ámbito del estudio y el sector público (riego de áreas verdes, actividades y entidades públicas) con 7%.
- Una particularidad de Lima es que un alto porcentaje de sus aguas residuales es vertido al mar (72%), en lugar de regresar al sistema luego de un tratamiento adecuado y, al no ser recuperable, se debe de considerar como parte de la HH Azul. Esto influyó significativamente en los resultados (>80% de la HH Azul total). Este resultado corrobora el alto potencial que existe para la reducción de la HH Azul de Lima con medidas de tratamiento y reutilización de aguas servidas.
- La Huella Hídrica Gris directa (HH Gris) total de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2016 fue de 1 768 MMC que es más del doble del volumen de agua que trae el río Rímac al año y que sería necesario para diluir los contaminantes a un nivel aceptable. El 97% de esta HH Gris se debe al sector residencial e industrial. En el sector residencial, el principal factor es el alto volumen de efluentes generados en los hogares. En el sector industrial, el resultado se ve influenciado por la calidad en que el agua es devuelta al sistema (río), especialmente por aquellos vertimientos ilegales. Es importante mencionar que este indicador podría estar subestimado de manera considerable, ya que el estudio no ha podido considerar las diferentes calidades de agua según subsector industrial por falta de datos. Por otro lado, existe un inventario incompleto de vertimientos ilegales con su respectiva medición de caudal y análisis de calidad.
- El Análisis de Sostenibilidad realizado, donde se comparó los resultados de la HH Azul total de los sectores estudiados con la disponibilidad total de agua en Lima, refleja una situación insostenible del agotamiento del recurso por los diferentes usuarios durante todo el año. El índice de agotamiento o "estrés hídrico" varía entre 0,46 en febrero y abril y 0,65 en diciembre con un promedio anual de 0,57, cuando un valor por encima de 0,40 ya significa "estrés hídrico severo". Esto significa que, dada la disponibilidad limitada de los recursos hídricos en las cuencas de Lima, la HH Azul tendría que reducirse por la mitad para alcanzar valores de estrés hídrico moderado. Cabe destacar que, si bien los resultados presentados fueron determinados para el año 2016, se pueden considerar representativos también para el año 2017 y 2018.
- La evaluación de la sostenibilidad social del uso de agua en Lima Metropolitana, comparando la HH Azul residencial per cápita entre los diferentes distritos, reveló un uso altamente inequitativo del agua potable. Por otro lado, el análisis ayudó a identificar los distritos con más potencial para reducir la HH Azul. Parece relevante destacar, que el promedio de la HH Azul residencial en Lima corresponde a un uso de agua per cápita comparable con el promedio de ciudades desarrolladas en países de la OCDE. Eso es porque el uso desproporcionadamente elevado de algunos distritos de Lima es "compensado" por las restricciones del abastecimiento con agua potable en los distritos menos consolidados.



## 7. RECOMENDACIONES

- A medida que la población y las actividades comerciales e industriales crecen, la demanda de recursos hídricos aumentará. Debido a ello, las estrategias para el sector residencial deben orientarse a promover cambios en los hábitos de consumo de usuarios y lograr el uso eficiente y racional del agua, de esta manera reducir la HH Azul del sector. Del mismo modo, reduciendo la HH Azul residencial per cápita en los distritos que presentaron los valores más altos, se contribuye a que otros usuarios puedan contar más tiempo con este recurso. Se deben considerar, además, medidas que ayuden a regular el incremento del aporte a la HH Azul de Lima Metropolitana de los distritos con HH Azul per cápita pequeña y se encuentran por debajo del promedio distrital.
- Los sectores comercial e industrial reúnen a los actores con mayor capacidad de acción e inversión por lo que son un público objetivo estratégico en los procesos de sensibilización. En este sentido, se debe fomentar la implementación de opciones tecnológicas que permitan el uso más eficiente del agua, así como la mejora de la calidad de sus aguas residuales. Del mismo modo, se debe promover el reúso de aguas residuales tratadas (en actividades internas y externas) mediante proyectos que se formulen y ejecuten, por ejemplo, por mecanismos como las alianzas público privadas.
- Las municipalidades distritales presentan un gran potencial para reducir su Huella Azul. Según resultados de este estudio, las municipalidades de Lima Metropolitana utilizaron un total de aproximadamente 8 MMC de agua potable para el riego de áreas verdes. Estos volúmenes de agua pueden ser reemplazados por agua residual tratada haciendo uso de tecnología que podrían ser financiadas por iniciativas y asociaciones público privadas.
- Debido a las limitaciones que presentó el estudio, como la falta de información sobre la calidad de aguas residuales, específicamente del sector industrial, se recomienda evaluar la Huella Gris en un estudio con mayor detalle, tomando en cuenta las diferentes calidades de las aguas residuales según subsector industrial. Además, se sugiere realizar un estudio más detallado para la subcuenca de la quebrada Huaycoloro ya que es una de las subcuencas más contaminadas. Por otro lado, se recomienda actualizar el inventario de vertimientos (legales e ilegales) en el ámbito de las cuencas del río Chillón, Rímac y Lurín, registrando mediciones de caudal y monitoreando la calidad del vertimiento, así como el nivel de impacto sobre el cuerpo receptor a través de más estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial y subterránea y que se ejecuten con mayor frecuencia.
- Es necesario determinar con mayor exactitud la información que ha sido relevante para este estudio y podrá ser usada en futuras cuantificaciones de la huella hídrica de Lima. Por ejemplo, la extensión de áreas verdes privadas de algunos distritos con áreas agrícolas, la extensión de áreas verdes públicas de los distritos no incluidos en el estudio del Observatorio del Agua, el uso de agua en zonas donde SEDAPAL no abastece de agua potable y en su lugar se encarga la Municipalidad, como es el caso del distrito de Chosica.
- Se sugiere el desarrollo de alguna una metodología para la determinación del caudal ecológico que sea apropiado para Lima, ya que el nivel de estrés hídrico y los caudales altamente regulados de los ríos requieren el desarrollo de un método específico.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- ANA, 2010. Resolución Jefatural N°202-2010-ANA. Autoridad Nacional del Agua, Lima, Perú.
- ANA, 2016. Resolución Jefatural N°1542016-ANA, Fecha de Resolución: miércoles, 15 junio, 2016. <http://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-metodologia-determinar-caudales-ecologicos>.
- ANA, 2017. Consultas Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos <http://snirh.ana.gob.pe/consultasSnirh/RepConsultaHidrometrica.aspx?IdPunto=1807&IdTipo=1&IdFuente=4>
- Anuario Estadístico SEDAPAL 2016. Entregado por SEDAPAL.
- Aquafondo, Cooperación Alemana para el Desarrollo, Instituto de Promoción para la Gestión del Agua, Zegarra, E., 2016. Estudio de Riesgos Hídricos y Vulnerabilidad del Sector Privado en Lima Metropolitana y Callao en un Contexto de Cambio Climático. Fondo de Agua para Lima y Callao – AQUAFONDO, Lima, Perú. <http://aquafondo.org.pe/impacto-economico-de-una-crisis-de-agua-en-la-economia-de-lima-y-el-pais-en-su-conjunto/>
- Assessment for Latin America and the Caribbean: An analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution. Value of Water Research Report Series No. 66, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Banco de Desarrollo de América Latina, 2015. Proyecto Huella de Ciudades: Resultados Estratégicos y Guía Metodológica. Banco de desarrollo de América Latina. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/841>
- DeOreo, W.B., Mayer, P.W., Martien, L., Hayden, M., Funk, A., Kramer-Duffield, M., Davis, R., 2011. California Single Family Water Use Efficiency Study, California Department of Water Resources/U.S. Bureau of Reclamation CalFed Bay-Delta Program, <http://www.aquacraft.com/sites/default/files/pub/CalSF%20Water%20Study%20%20Report%20Body%20120811.pdf>
- European Comission (DG ENV), 2009. Study on Water Performance of buildings. Final Report, European Comission. [ec.europa.eu/.../water/.../Water%20Performance%20of%20Buildings\\_Study2009.pdf](http://ec.europa.eu/.../water/.../Water%20Performance%20of%20Buildings_Study2009.pdf)
- FAO, 2009. Cropwat version 8.0. FAO: Rome. [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)
- Gawlik BM, Easton P, Koop S, Van Leeuwen K, Elelman R (eds) 2017. Urban Water Atlas for Europe. European Commission, Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- Hanak, E., Davis, M., 2006. Lawns and Water Demand in California, California Economic Policy 2, No. 2, [www.ppic.org/content/pubs/cep/ep\\_706ehp.pdf](http://www.ppic.org/content/pubs/cep/ep_706ehp.pdf). HC & Asociados S.R.L., 2015. Servicio de Consultoría para la Actualización del Modelo Matemático de los Acuíferos Rímac y Chillón. Entregado por GIZ, noviembre 2017.

- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011a. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E., Richter, B.D., 2012. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. PLoS ONE 7(2): e32688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- IMTA - Coordinación de Tecnología Hidráulica, 2003. Manual para el uso eficiente y racional del agua ¡Utiliza sólo la necesaria! México, <http://watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Reduccion%20de%20la%20Demanda/Manual%20Uso%20eficiente%20y%20racional%20del%20agua.pdf>
- INEI, 2010. Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas Las Actividades Económicas. Recisión 4. Dirección Nacional de Cuentas Nacionales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Lima, Perú. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/.../Libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/.../Libro.pdf)
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Good Stuff International, 2017. Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica. IICA, San José, Costa Rica. <http://www.iica.int/es/publications/evaluaci%C3%B3n-de-la-huella-h%C3%ADdrica-en-cuencas-hidrogr%C3%A1ficas-experiencias-piloto-en>
- Linnansaari, T, Monk, W.,A., Baird, D.,J., Curry, R.A., 2013. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally. Research Document 2012/039, National Capital Region, Candian Science Advisory Secretariat (CSAS). [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)
- Manco Silva, D., G., Guerrero Erazo, J., Ocampo Cruz, A., M., 2012. Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 11, No. 21 pp. 23 – 38.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A., Y., 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances 2016; 2: e1500323.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2011b. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Mekonnen, M.M., Pahlow, M., Aldaya, M.M., Zarate, E., Hoekstra, A.Y., 2014. Water Footprint
- Méndez Vega, J.P., 2016. TECNOLOGÍAS PARA EL REUSO DE AGUAS RESIDUALES. Proyecto "Adaptación de la Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado –PROACC". [msi.gob.pe/portal/wp.../2016.09.3.-Tecnologicas-para-Reuso-de-Aguas-Residuales.pdf](http://msi.gob.pe/portal/wp.../2016.09.3.-Tecnologicas-para-Reuso-de-Aguas-Residuales.pdf)
- MINAGRI, 2015. MANUAL DEL CÁLCULO DE EFICIENCIA PARA SISTEMAS DE RIEGO. MINAGRI, Lima, Perú. [www.minagri.gob.pe/.../manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](http://www.minagri.gob.pe/.../manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)
- MINAM, 2017. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.
- MINAM, ANA, ALA CHIRILU, 2010. Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales, Lima, Perú.
- Moscoso Cavallini, J.C., 2011. Estudio de opciones de tratamiento y reúso de aguas residuales en Lima Metropolitana. LiWa, Lima, Perú. [www.lima-water.de/documents/jmoscoso\\_informe.pdf](http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf)
- Municipalidad del Callao, 2015. Presentación de la Gerencia General de la Protección del Medio Ambiente. Enero a diciembre del 2015. [www.municallao.gob.pe/.../rendicion-de-cuentas-gerencia-de-proteccion-del-medio-a-...](http://www.municallao.gob.pe/.../rendicion-de-cuentas-gerencia-de-proteccion-del-medio-a-...)
- Municipalidad Metropolitana de Lima, 2014. Memoria/Tomo I del Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano - PLAM Lima y Callao 2035. Avance 2014. Municipalidad Metropolitana de Lima, Lima, Perú. <http://www.imp.gob.pe/index.php/plan-metropolitano-de-desarrollo-urbano-de-lima-y-callao-plam>.

- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CALLAO, 2010. Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia Constitucional del Callao 2011-2022, Tomo 2. Callao, Perú. [www.municallao.gob.pe/contenidosMPC/.../plan-desarrollo-urbano-2011.html](http://www.municallao.gob.pe/contenidosMPC/.../plan-desarrollo-urbano-2011.html)
- Naciones Unidas, 2015. The Human Right to Water and Sanitation. Media brief. Programme on Advocacy and Communication (UNW-DPAC), Geneva, Suiza.
- Nippon Koei LAC CO. LTD. (n.d.), Manejo Integrado de los Recursos Hídricos para el Abastecimiento de Agua Potable de Lima Metropolitana. Entregado por SEDAPAL (setiembre 2017).
- NIPPON KOEI LAC CO., LTD. (n.d.) Manejo Integrado de Recursos Hídricos para el Abastecimiento de Agua Potable de Lima Metropolitana. Estudio entregado por SEDAPAL.
- OECD, 2016. Water Governance in Cities.
- Observatorio del Agua, 2018. Estado situacional de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín.
- Quintana, J., Tovar, J., 2002. Evaluación del acuífero de Lima (Perú) y medidas correctoras para contrarrestar la sobreexplotación. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 303-312 <http://www.oecd.org/fr/publications/water-governance-in-cities-9789264251090-en.htm>
- Richter, B.D., Davis, M.M., Apse, C., Konrad, C., 2011. A presumptive Standard for Environmental Flow Protection. Short Communication. et al. (2011). RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS, DOI: 10.1002/rra.
- SEDAPAL, 2017. Anuario Estadístico de SEDAPAL, 2016. Entregado por SEDAPAL (Setiembre 2017).
- SENAMHI, 2014. Indicadores de Alteración Hidrológica del Río Rímac. SENAMHI/MINAM, Lima, Peru.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, 2016. Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú.
- South Staffs Water, n.d. Water use in your business. Advice & tips for saving water. [http://www.south-staffs-water.co.uk/publications/your\\_business/WaterUseBusiness.pdf](http://www.south-staffs-water.co.uk/publications/your_business/WaterUseBusiness.pdf).
- Statistics Canada, 2012. Industrial Water Use 2009. Statistics Canada, Environment Accounts and Statistics Division. Ottawa, Canada. <http://www.statcan.gc.ca/reference/copyright-droit-auteur-eng.htm>.
- SUNASS, 2015. Nota de prensa N°161-2015: COMPRAR AGUA POR CAMIÓN CISTERNA LES CUESTA A LAS FAMILIAS LIMEÑAS 72 SOLES MENSUALES. <http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/noticias/item/568-sunass-comprar-agua-por-camion-cisterna-les-cuesta-a-las-familias-limenas-72-soles-mensuales>
- UNESCO (ed.), 2009. Chapter 7: Evolution of Water Use. In: Water in a changing world. The United Nations World Water report 3. UNESCO and Earthscan. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr3-2009/downloads-wwdr3/>
- Vázquez del Mercado Arribas, R., Lambarri, J., 2017. Huella hídrica en México: análisis y perspectivas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Mexico. <http://www.conacytprensa.mx/index.php/libro/14337-huella-hidrica-en-mexico-analisis-y-perspectivas>.
- Villarán, J.L., 2010. Inventario de áreas verdes Lima Metropolitana. Instituto Metropolitano de Planificación (IMP), Lima, Peru. [www.urbanistasperu.org](http://www.urbanistasperu.org)



## 9.

## ANEXOS

## ANEXO 1. SUPUESTOS Y LIMITACIONES

| DATOS  | DESCRIPCIÓN   | FUENTE  |
|--|---|---|
| Volumen de agua extraído de pozos de SEDAPAL   | No hay información sobre la distribución del agua subterránea a los diferentes sectores.<br>El agua extraída de pozos no se consume necesariamente en el distrito donde se encuentra el pozo.   | Datos no considerados en los cálculos.  |
| Volumen de agua distribuido por cisternas  | No hay información de volúmenes de agua distribuido con cisternas.  | Según el Anuario Estadístico de SEDAPAL (2016) se distribuyen 3,179, 000 m <sup>3</sup> por año en camiones cisterna; según estimaciones propias (en base a la encuesta de hogares 2015) son 4, 283,175 m <sup>3</sup> por año, entre fuente superficial y subterránea. Además se ha estimado que 12, 849,545 m <sup>3</sup> son distribuidos por terceros cada año.<br><br>Para los cálculos se usó el volumen estimado y solamente el volumen distribuido por SEDAPAL. Los volúmenes distribuidos por terceros provienen de fuentes que ya se han contabilizado, como pozo fuente propia (tipo de uso poblacional) y extracción de agua superficial (tipo de uso poblacional), ambos provistos por la ANA. Se asume que se distribuye agua con cisterna sólo al sector residencial. |
| Registros sobre tipos de uso del ANA   | Los tipos de uso de la ANA no concuerdan con los sectores de usuarios de SEDAPAL. La ANA no tiene un tipo de uso "comercial" e incluye clientes comerciales en el tipo de uso "industrial".   | El tipo de uso "recreacional" se ha incluido en el sector comercial ya que incluye centros deportivos, colegios, cementerios, restaurantes campestres, etc.<br><br>Además se ha reclasificado los siguientes usuarios: "plaza", "club", "recuerdo" o "asociación" a "comercial"; "agrícola" a "agrícola"; "industria" a "industrial" y "E.I.R.L. o S.A." a comercial, industrial o agrario (según nombre de empresa).<br><br>No se ha podido agrupar a los usuarios con nombres personales por lo que se ha mantenido el tipo de uso asignado por la ANA.<br><br>Se ha revisado el tipo de uso "Otros" de la ANA y se asignaron a los sectores industrial o comercial en caso de aplicar.   |
| Vertimientos de aguas residuales sin tratamiento   | No existe información sobre el volumen total de vertimientos, solamente se tiene el caudal. Ausencia de información sobre parámetros de calidad de las descargas ni de vertimientos del sector comercial.   | Se ha estimado el volumen suponiendo que un vertimiento continuo descarga 24 horas/día y uno intermitente descarga 12 horas/día.<br><br>De los parámetros de calidad de vertimientos se usaron los parámetros de calidad para las aguas residuales no tratadas en el afluente a la PTAR Taboada.<br><br>No se ha asignado un volumen de vertimiento al sector comercial por falta de información.   |
| Servicios de agua potable realizados prestados por municipalidades (p.e. Lurigancho Chosica) | No se obtuvo información sobre servicios de agua potable prestados por municipalidades.   | Los volúmenes extraídos por municipalidades para la prestación de servicios de saneamiento se han contabilizado a través de los derechos de uso de agua de la ANA.<br><br>En el listado de volúmenes extraídos de fuentes superficiales y subterráneas, figuran también las municipalidades y el volumen de agua extraído.  |
| Datos entregados por la ANA  | Se conoce el volumen anual extraído (superficial y subterráneo) y no mensual.   | Este volumen se ha prorrateado para los doce meses del año.   |
| Extensión de áreas verdes privadas.  | Dificultades para distinguir las áreas verdes privadas de las áreas agrícolas y áreas verdes de uso comercial (clubes restaurantes). Es el caso de Chaclacayo, Cieneguilla, Lurigancho Chosica, probablemente también Lurín.<br><br>El dato de áreas verdes privadas en | En caso de Lurigancho Chosica se restaron 60ha de las áreas digitalizadas que corresponde al área del Campo Fe.   |

## ANEXO 2. JARDINES PRIVADOS DE USO PÚBLICO

| Distrito           | Áreas verdes privadas de uso público [ha] |
|--------------------|---|
| Lima               | 5   |
| Ate                | 11  |
| Chorrillos         | 105                                       |
| La Molina          | 36  |
| Lurigancho Chosica | 133*                                      |
| Magdalena del Mar  | 3   |
| Pueblo Libre       | 9   |
| San Isidro         | 49  |
| Santiago De Surco  | 55  |
| Villa El Salvador  | 60  |

\*Se sumaron 60ha (área de Campo Fe)

### ANEXO 3. REPORTE DEL ESTADO SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC Y LURÍN (FICHAS TÉCNICAS)

Estado Situacional de los Recursos Hídricos en las Cuencas Chillón, Rímac y Lurín – 2016/2017

#### 4.3.4 DEMANDA PARA USO RECREATIVO EN LIMA METROPOLITANA

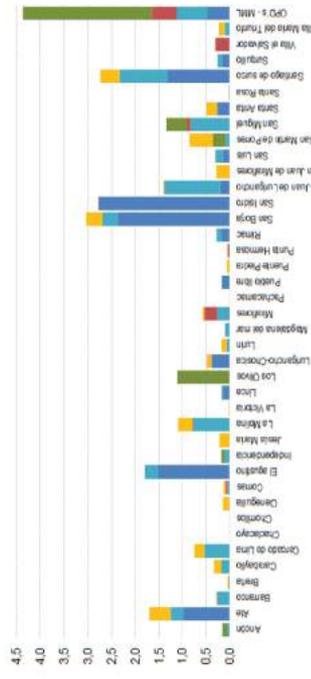
##### DESCRIPCIÓN:

La demanda de agua para el riego de áreas verdes se evalúa en hm<sup>3</sup>/año y de acuerdo a las distintas fuentes de agua, tales como: Agua de río mediante canales, Red pública de SEDAPAL, Agua residual tratada y Agua subterránea.

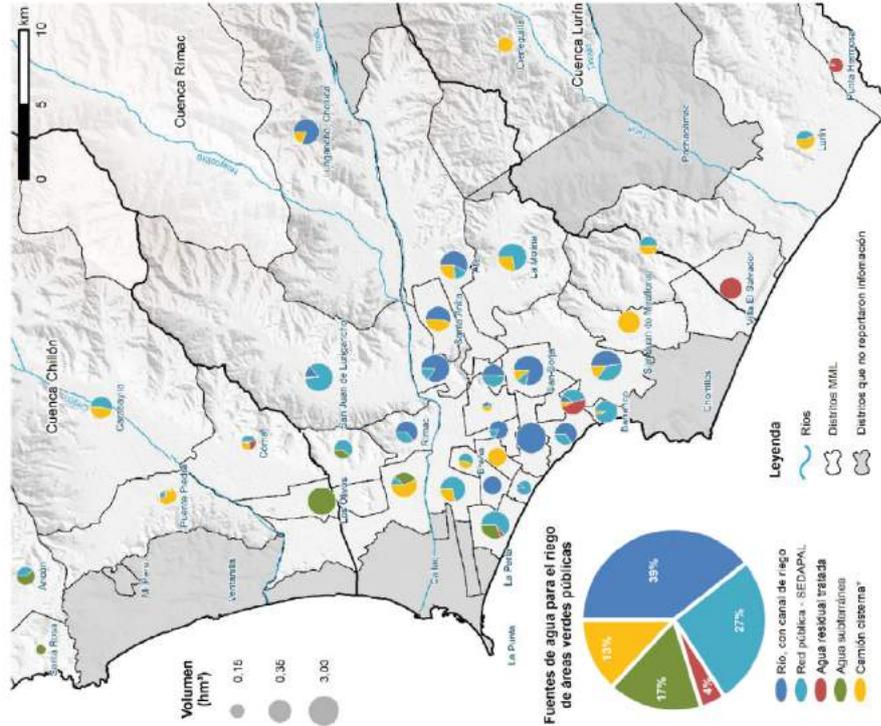
##### RESULTADOS

El riego de áreas verdes se realiza utilizando distintas fuentes de agua, siendo el agua de río mediante canales de irrigación (39%) y Agua potable de SEDAPAL (27%) las más usadas. Cabe resaltar que la información de los Organismos Públicos Descentralizados (OPDs-MML, SERPAR, el parque de las Leyendas, los pantanos de Villa) lo maneja la Municipalidad Metropolitana de Lima de forma independiente.

Volumen de agua utilizados para el riego de áreas verdes (hm<sup>3</sup>/año)



\*Camión cisterna, transporta agua de distintas fuentes, subterránea, superficial, río, agua residual tratada.





**ANEXO 4. EFLUENTES DE LA PTAR TABOADA Y LA CHIRA QUE SE CONSIDERARON COMO PARTE DE LA HUELLA HÍDRICA DIRECTA AZUL**

| Distrito                   | Sector residencial (m³) |               |                 | Sector comercial (m³) |               |                 | Sector industrial (m³) |               |                 | Sector público (m³) |               |                 |
|----------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|
|                            | Taboada y La Chira      | PTARs zonales | Sin tratamiento | Taboada y La Chira    | PTARs zonales | Sin tratamiento | Taboada y La Chira     | PTARs zonales | Sin tratamiento | Taboada y La Chira  | PTARs zonales | Sin tratamiento |
| Callao                     | 11 340 445              | 2 624 461     | -               | 1 011 800             | 233 634       | -               | 31 398 417             | 7 260 701     | -               | 323 186             | 75 809        | -               |
| Bellavista                 | 2 484 844               | 576 860       | -               | 136 819               | 31 593        | -               | 510 330                | 118 007       | -               | 471 715             | 110 649       | -               |
| Carmen De La Legua Reynoso | 1 799 379               | 413 037       | -               | 42 812                | 9 886         | -               | 507 052                | 117 249       | -               | 42 454              | 9 958         | -               |
| La Perla                   | 3 156 994               | 732 603       | -               | 93 662                | 21 628        | -               | 20 747                 | 4 771         | -               | 89 212              | 20 926        | -               |
| La Punta                   | 191 703                 | 44 433        | -               | 5 517                 | 1 274         | -               | 7                      | 2             | -               | 16 661              | 3 908         | -               |
| Ventanilla (Incl. Mi Perú) | 2 291 004               | 526 248       | -               | 44 860                | 10 358        | -               | 6 733 991              | 1 557 052     | 914 544         | 1 263 297           | 296 329       | -               |
| Lima                       | 10 247 761              | 2 374 895     | -               | 1 322 129             | 305 292       | -               | 6 751 195              | 1 560 845     | 630 720         | 1 676 467           | 393 245       | -               |
| Anoón                      | 512 749                 | 119 198       | -               | 5 430                 | 1 254         | -               | 4 654                  | 1 076         | -               | 528 773             | 124 033       | -               |
| Ate                        | 13 329 514              | 3 091 534     | 477 770         | 905 525               | 209 094       | -               | 3 083 003              | 711 990       | 7 000 992       | 569 117             | 133 496       | -               |
| Barranco                   | 1 522 390               | 353 028       | -               | 111 800               | 25 816        | -               | 57 489                 | 13 281        | -               | 9 334               | 2 189         | -               |
| Breña                      | 6 494 275               | 1 507 320     | -               | 147 108               | 33 969        | -               | 321 291                | 74 246        | -               | 227 563             | 53 379        | -               |
| Carabaylo                  | 6 395 546               | 1 476 774     | 173 448         | 48 068                | 11 099        | -               | 436 421                | 100 473       | -               | 248 158             | 58 210        | -               |
| Chaclacayo                 | 3 100 055               | 716 790       | 189 216         | 15 345                | 3 543         | -               | 748 756                | 173 128       | -               | 11 657              | 2 734         | -               |
| Chormillos                 | 5 408 162               | 1 238 850     | -               | 613 392               | 141 638       | -               | 582 962                | 134 956       | -               | 803 497             | 188 475       | -               |
| Cieneguilla                | -                       | -             | 877 353         | 7 326                 | 1 692         | -               | 11 021                 | 2 534         | -               | 39 340              | 9 228         | -               |
| Comas                      | 14 007 239              | 3 277 472     | 7 884           | 204 795               | 47 289        | -               | 92 167                 | 21 247        | -               | 481 965             | 113 054       | -               |
| El Agustino                | 5 052 735               | 1 173 388     | -               | 62 262                | 14 377        | -               | -                      | -             | 1 821 532       | 203 325             | 47 694        | -               |
| Independencia              | 4 677 572               | 1 073 845     | -               | 177 316               | 40 944        | -               | 191 825                | 44 354        | -               | 145 076             | 34 030        | -               |
| Jesús María                | 3 356 624               | 777 827       | -               | 320 293               | 73 959        | -               | 53 304                 | 12 141        | -               | 791 973             | 185 771       | -               |
| La Molina                  | 3 796 756               | 867 757       | -               | 381 409               | 88 071        | -               | 52 881                 | 12 169        | -               | 14 871              | 3 488         | -               |
| La Victoria                | 5 803 668               | 1 346 728     | -               | 812 333               | 187 575       | -               | 342 035                | 79 225        | -               | 578 984             | 135 811       | -               |
| Lince                      | 2 578 944               | 599 592       | -               | 363 000               | 83 820        | -               | 111 551                | 25 534        | -               | 85 770              | 20 119        | -               |
| Los Olivos                 | 10 799 735              | 2 509 229     | -               | 262 898               | 60 706        | -               | 547 728                | 126 885       | -               | 292 585             | 68 631        | -               |
| Lurigancho Chosica         | -                       | -             | 1 920 024       | 95 968                | 22 160        | -               | 11 098 948             | 2 566 530     | 1 122 682       | 54 123              | 12 695        | -               |
| Lurín                      | -                       | -             | 1 105 107       | 68 125                | 15 731        | -               | 1 484 479              | 343 230       | -               | 90 627              | 21 258        | -               |
| Magdalena Del Mar          | 2 796 756               | 646 845       | -               | 409 084               | 94 461        | -               | 46 083                 | 10 607        | -               | 227 569             | 53 380        | -               |
| Pueblo Libre               | 3 945 413               | 916 034       | -               | 224 682               | 51 881        | -               | 87 023                 | 20 150        | -               | 171 791             | 40 297        | -               |
| Miraflores                 | 6 998 507               | 1 623 534     | -               | 1 659 227             | 383 131       | -               | 282 004                | 65 179        | -               | 170 890             | 40 085        | -               |
| Pachacamac                 | 1 865 768               | 432 740       | -               | 34 294                | 7 919         | -               | 578 816                | 133 866       | -               | 95 451              | 22 390        | -               |
| Pucusana                   | 97 389                  | 22 046        | -               | 1 750                 | 404           | -               | 791                    | 182           | -               | 12 850              | 3 014         | -               |
| Puente Piedra              | 5 420 649               | 1 261 458     | 646 488         | 78 332                | 18 088        | -               | 1 922 501              | 444 885       | 1 261           | 449 763             | 105 500       | -               |
| Punta Hermosa              | 102 137                 | 24 241        | -               | 8 176                 | 1 888         | -               | 1 602                  | 379           | -               | 15 597              | 3 658         | -               |
| Punta Negra                | 65 264                  | 15 392        | -               | 507                   | 117           | -               | 849                    | 199           | -               | 29 450              | 6 908         | -               |
| Rimac                      | 4 775 470               | 1 111 048     | -               | 66 036                | 15 248        | -               | 1 895 237              | 438 268       | 630 720         | 555 670             | 130 342       | -               |
| San Bartolo                | 175 397                 | 41 264        | -               | 2 177                 | 503           | -               | 346                    | 74            | -               | 9 714               | 2 279         | -               |
| San Borja                  | 5 906 497               | 1 371 634     | -               | 760 184               | 175 534       | -               | 53 580                 | 12 411        | -               | 191 737             | 44 975        | -               |
| San Isidro                 | 4 951 970               | 1 147 558     | -               | 2 871 483             | 663 052       | -               | 307 530                | 71 500        | -               | 306 332             | 71 856        | -               |
| San Juan De Lurigancho     | 23 283 447              | 5 416 227     | -               | 279 865               | 64 623        | -               | 2 635 710              | 609 368       | -               | 944 168             | 221 471       | -               |
| San Juan De Miraflores     | 10 523 793              | 2 446 591     | -               | 197 999               | 45 720        | -               | 107 958                | 25 126        | -               | 612 201             | 143 603       | -               |
| San Luis                   | 2 109 574               | 490 316       | -               | 157 395               | 36 344        | -               | 406 152                | 93 401        | -               | 100 257             | 23 517        | -               |

| Distrito                | Sector residencial (m³) |               |                 | Sector comercial (m³) |               |                 | Sector industrial (m³) |               |                 | Sector público (m³) |               |                 |
|-------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|
|                         | Taboada y La Chira      | PTARs zonales | Sin tratamiento | Taboada y La Chira    | PTARs zonales | Sin tratamiento | Taboada y La Chira     | PTARs zonales | Sin tratamiento | Taboada y La Chira  | PTARs zonales | Sin tratamiento |
| San Juan De Lunigacho   | 23 263 447              | 5 416 227     | --              | 279 865               | 64 623        | --              | 2 635 710              | 609 368       | --              | 944 168             | 221 471       | --              |
| San Juan De Miraflores  | 10 623 793              | 2 446 691     | --              | 197 969               | 46 720        | --              | 107 968                | 26 126        | --              | 612 201             | 143 603       | --              |
| San Luis                | 2 109 674               | 490 316       | --              | 167 366               | 36 344        | --              | 406 162                | 93 401        | --              | 100 267             | 23 617        | --              |
| San Martín De Porres    | 20 867 990              | 4 792 098     | --              | 330 780               | 76 680        | --              | 1 028 246              | 237 968       | --              | 653 749             | 163 348       | --              |
| San Miguel              | 7 514 507               | 1 739 795     | --              | 376 220               | 80 673        | --              | 88 802                 | 20 447        | --              | 44 181              | 10 363        | --              |
| Santa Anita             | 5 665 761               | 1 293 462     | --              | 235 542               | 54 389        | --              | 2 015 404              | 466 802       | --              | 192 860             | 45 239        | --              |
| Santa Rosa              | 1 100 070               | 25 129        | --              | 914                   | 211           | --              | 42                     | 12            | --              | 44 987              | 10 562        | --              |
| Santiago De Surco       | 30 016 346              | 6 964 161     | --              | 1 341 385             | 309 738       | --              | 466 644                | 106 823       | --              | 31 276              | 7 336         | --              |
| Surquillo               | 4 080 626               | 946 416       | --              | 449 666               | 103 607       | --              | 129 728                | 29 976        | --              | 189 914             | 43 644        | --              |
| Villa Salvador El       | 8 716 233               | 2 031 693     | --              | 177 163               | 40 906        | --              | 230 946                | 66 414        | --              | 629 781             | 122 168       | --              |
| Villa María Del Triunfo | 9 613 219               | 2 241 967     | --              | 94 786                | 21 687        | --              | 47 469                 | 11 042        | --              | 636 696             | 126 669       | --              |
| Total                   | 277 660 896             | 64 426 508    | 5 397 290       | 17 017 623            | 3 929 506     | --              | 77 484 617             | 17 914 766    | 12 122 451      | 16 164 512          | 3 667 108     | --              |

**ANEXO 5. HUELLA HÍDRICA AZUL DIRECTA A NIVEL DISTRITAL Y SEGÚN SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL, INDUSTRIAL Y PÚBLICO PARA EL AÑO 2016(MMC)**

| Código postal | Distritos                  | Residencial | Comercial | Industrial | Público   | TOTAL      |
|---------------|----------------------------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Lima 1        | Cercado de Lima            | 12,2        | 5,76      | 8,26       | 3,5       | 29,7       |
| Lima 2        | Ancón                      | 0,8         | 0,14      | 0,01       | 1,0       | 1,9        |
| Lima 3        | Ate                        | 16,4        | 5,32      | 4,52       | 1,8       | 28,0       |
| Lima 4        | Barranco                   | 1,9         | 0,53      | 0,06       | 0,2       | 2,7        |
| Lima 5        | Breña                      | 3,7         | 0,83      | 0,23       | 0,4       | 5,2        |
| Lima 6        | Carabayllo                 | 7,6         | 1,60      | 0,49       | 0,7       | 10,4       |
| Lima 7        | Comas                      | 16,2        | 4,96      | 0,10       | 1,4       | 22,7       |
| Lima 8        | Chaclacayo                 | 3,5         | 0,61      | 0,86       | 0,1       | 5,1        |
| Lima 9        | Chorrillos                 | 10,6        | 1,71      | 0,66       | 1,8       | 14,7       |
| Lima 10       | El Agustino                | 6,7         | 0,66      | 0,17       | 1,8       | 9,3        |
| Lima 11       | Jesús María                | 4,0         | 1,50      | 0,06       | 1,4       | 7,0        |
| Lima 12       | La Molina                  | 10,9        | 1,90      | 0,06       | 0,8       | 13,7       |
| Lima 13       | La Victoria                | 6,7         | 3,14      | 0,38       | 0,9       | 11,2       |
| Lima 14       | Lince                      | 3,0         | 1,13      | 0,13       | 0,2       | 4,5        |
| Lima 15       | Lurigancho Chosica         | 2,8         | 0,46      | 13,39      | 0,3       | 16,9       |
| Lima 16       | Lurín                      | 1,3         | 1,40      | 1,74       | 0,3       | 4,7        |
| Lima 17       | Magdalena del Mar          | 3,4         | 0,61      | 0,05       | 0,4       | 4,5        |
| Lima 18       | Miraflores                 | 8,4         | 3,88      | 0,32       | 0,7       | 13,3       |
| Lima 19       | Pachacamac                 | 2,2         | 0,93      | 0,69       | 0,2       | 4,0        |
| Lima 20       | Pucusana                   | 0,2         | 0,04      | 0,00       | 0,0       | 0,3        |
| Lima 21       | Pueblo Libre               | 4,6         | 0,79      | 0,10       | 0,3       | 5,8        |
| Lima 22       | Puente Piedra              | 6,8         | 5,16      | 2,17       | 0,8       | 14,9       |
| Lima 23       | Punta Negra                | 0,1         | 0,01      | 0,00       | 0,2       | 0,3        |
| Lima 24       | Punta Hermosa              | 0,2         | 0,02      | 0,00       | 0,1       | 0,3        |
| Lima 25       | Rímac                      | 5,8         | 2,43      | 2,44       | 1,1       | 11,7       |
| Lima 26       | San Bartolo                | 0,2         | 0,04      | 0,00       | 0,1       | 0,3        |
| Lima 27       | San Isidro                 | 6,1         | 3,50      | 0,35       | 1,6       | 11,5       |
| Lima 28       | Independencia              | 5,3         | 1,16      | 0,22       | 0,4       | 7,1        |
| Lima 29       | San Juan de Miraflores     | 12,1        | 2,00      | 0,12       | 1,6       | 15,9       |
| Lima 30       | San Luis                   | 2,5         | 0,74      | 0,46       | 0,3       | 4,1        |
| Lima 31       | San Martín de Porres       | 23,6        | 8,88      | 1,19       | 1,6       | 35,3       |
| Lima 32       | San Miguel                 | 9,3         | 1,95      | 0,11       | 1,1       | 12,5       |
| Lima 33       | Santiago de Surco          | 38,8        | 9,61      | 0,53       | 1,6       | 50,5       |
| Lima 34       | Surquillo                  | 4,7         | 1,23      | 0,15       | 0,4       | 6,5        |
| Lima 35       | Villa María del Triunfo    | 11,1        | 1,01      | 0,05       | 1,0       | 13,2       |
| Lima 36       | San Juan de Lurigancho     | 26,7        | 5,62      | 3,06       | 2,8       | 38,1       |
| Lima 37       | Santa María del Mar        | sin datos   | sin datos | sin datos  | sin datos | sin datos  |
| Lima 38       | Santa Rosa                 | 0,4         | 0,02      | 0,00       | 0,4       | 0,8        |
| Lima 39       | Los Olivos                 | 12,5        | 2,50      | 0,63       | 1,4       | 17,0       |
| Lima 40       | Cieneguilla                | 0,1         | 0,95      | 0,01       | 0,1       | 1,2        |
| Lima 41       | San Borja                  | 7,8         | 1,77      | 0,06       | 1,7       | 11,3       |
| Lima 42       | Villa El Salvador          | 10,7        | 1,43      | 0,27       | 1,8       | 14,2       |
| Lima 43       | Santa Anita                | 6,5         | 1,21      | 2,25       | 0,5       | 10,5       |
| Callao 1      | Callao                     | 15,3        | 3,11      | 38,21      | 1,9       | 58,5       |
| Callao 2      | Bellavista                 | 3,2         | 1,20      | 0,68       | 1,2       | 6,2        |
| Callao 3      | Carmen de la Legua Reynoso | 2,1         | 0,10      | 0,58       | 0,1       | 2,9        |
| Callao 4      | La Perla                   | 3,7         | 0,30      | 0,02       | 0,3       | 4,3        |
| Callao 5      | La Punta                   | 0,2         | 0,11      | 0,00       | 0,1       | 0,4        |
| Callao 6      | Ventanilla (+ Mi Perú)     | 4,5         | 0,52      | 7,68       | 3,7       | 16,4       |
| <b>Total</b>  |                            | <b>348</b>  | <b>95</b> | <b>94</b>  | <b>46</b> | <b>582</b> |

**ANEXO 6. HUELLA HÍDRICA GRIS DIRECTA A NIVEL DISTRITAL Y SEGÚN SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL, INDUSTRIAL Y PÚBLICO PARA EL AÑO 2016(MMC)**

| Código postal | Distritos                  | Residencial | Comercial | Industrial | TOTAL     |
|---------------|----------------------------|-------------|-----------|------------|-----------|
| Lima 1        | Cercado de Lima            | 36,7        | 4,3       | 38,8       | 79,9      |
| Lima 2        | Ancón                      | 1,8         | 0,0       | 0,0        | 1,8       |
| Lima 3        | Ate                        | 61,1        | 2,8       | 204,4      | 268,3     |
| Lima 4        | Barranco                   | 5,5         | 0,4       | 0,2        | 6,0       |
| Lima 5        | Breña                      | 11,6        | 0,5       | 0,7        | 12,8      |
| Lima 6        | Carabaylo                  | 27,6        | 0,0       | 1,4        | 29,0      |
| Lima 7        | Comas                      | 51,3        | 0,3       | 0,3        | 51,9      |
| Lima 8        | Chaclacayo                 | 16,5        | 0,0       | 2,3        | 18,8      |
| Lima 9        | Chorrillos                 | 18,5        | 1,5       | 2,1        | 22,0      |
| Lima 10       | El Agustino                | 18,1        | 0,2       | 50,6       | 68,9      |
| Lima 11       | Jesús María                | 12,0        | 1,0       | 0,2        | 13,2      |
| Lima 12       | La Molina                  | 12,4        | 1,0       | 0,2        | 13,5      |
| Lima 13       | La Victoria                | 20,9        | 2,7       | 1,2        | 24,8      |
| Lima 14       | Lince                      | 9,3         | 1,2       | 0,4        | 10,9      |
| Lima 15       | Lurigancho Chosica         | 53,6        | 0,0       | 67,1       | 120,7     |
| Lima 16       | Lurín                      | 30,9        | 0,1       | 4,7        | 35,7      |
| Lima 17       | Magdalena del Mar          | 10,0        | 1,4       | 0,2        | 11,6      |
| Lima 18       | Miraflores                 | 25,1        | 5,8       | 1,0        | 31,9      |
| Lima 19       | Pachacamac                 | 6,7         | 0,0       | 1,8        | 8,5       |
| Lima 20       | Pucusana                   | 0,3         | 0,0       | 0,0        | 0,3       |
| Lima 21       | Pueblo Libre               | 14,2        | 0,7       | 0,3        | 15,2      |
| Lima 22       | Puente Piedra              | 37,6        | 0,0       | 6,1        | 43,8      |
| Lima 23       | Punta Negra                | 0,2         | 0,0       | 0,0        | 0,2       |
| Lima 24       | Punta Hermosa              | 0,4         | 0,0       | 0,0        | 0,4       |
| Lima 25       | Rímac                      | 17,2        | 0,0       | 23,4       | 40,6      |
| Lima 26       | San Bartolo                | 0,6         | 0,0       | 0,0        | 0,6       |
| Lima 27       | San Isidro                 | 17,7        | 10,0      | 1,1        | 28,8      |
| Lima 28       | Independencia              | 16,5        | 0,5       | 0,6        | 17,7      |
| Lima 29       | San Juan de Miraflores     | 38,0        | 0,5       | 0,4        | 39,0      |
| Lima 30       | San Luis                   | 7,6         | 0,5       | 1,4        | 9,5       |
| Lima 31       | San Martín de Porres       | 74,6        | 0,4       | 3,4        | 78,4      |
| Lima 32       | San Miguel                 | 26,9        | 1,2       | 0,3        | 28,4      |
| Lima 33       | Santiago de Surco          | 107,3       | 3,7       | 1,6        | 112,7     |
| Lima 34       | Surquillo                  | 14,7        | 1,5       | 0,5        | 16,7      |
| Lima 35       | Villa María del Triunfo    | 34,8        | 0,3       | 0,2        | 35,2      |
| Lima 36       | San Juan de Lurigancho     | 84,0        | 0,5       | 8,5        | 93,1      |
| Lima 37       | Santa María del Mar        | sin datos   | sin datos | sin datos  | sin datos |
| Lima 38       | Santa Rosa                 | 0,3         | 0,0       | 0,0        | 0,3       |
| Lima 39       | Los Olivos                 | 39,0        | 0,7       | 1,9        | 41,6      |
| Lima 40       | Cieneguilla                | 24,7        | 0,0       | 0,0        | 24,7      |
| Lima 41       | San Borja                  | 21,1        | 2,6       | 0,2        | 24,0      |
| Lima 42       | Villa El Salvador          | 31,5        | 0,1       | 0,8        | 32,5      |
| Lima 43       | Santa Anita                | 20,0        | 0,8       | 6,4        | 27,2      |
| Callao 1      | Callao                     | 40,4        | 3,4       | 97,7       | 141,5     |
| Callao 2      | Bellavista                 | 8,9         | 0,4       | 1,6        | 10,9      |
| Callao 3      | Carmen de la Legua Reynoso | 6,4         | 0,1       | 1,6        | 8,1       |
| Callao 4      | La Perla                   | 11,4        | 0,3       | 0,1        | 11,8      |
| Callao 5      | La Punta                   | 0,7         | 0,0       | 0,0        | 0,7       |
| Callao 6      | Ventanilla (+ Mi Perú)     | 7,7         | 0,1       | 46,5       | 54,3      |
| Total         |                            | 1134,2      | 52,9      | 582,3      | 1768,4    |

## ANEXO 7. HUELLA HÍDRICA AZUL DIRECTA RESIDENCIAL PER CÁPITA 2016 (MMC)

| Código postal | Distritos                  | (m <sup>3</sup> /año) |
|---------------|----------------------------|-----------------------|
| Lima 1        | Cercado de Lima            | 45,4                  |
| Lima 2        | Ancón                      | 20,1                  |
| Lima 3        | Ate                        | 25,3                  |
| Lima 4        | Barranco                   | 64,1                  |
| Lima 5        | Breña                      | 49,3                  |
| Lima 6        | Carabaylo                  | 24,6                  |
| Lima 7        | Comas                      | 30,6                  |
| Lima 8        | Chaclacayo                 | 80,9                  |
| Lima 9        | Chorrillos                 | 31,9                  |
| Lima 10       | El Agustino                | 34,6                  |
| Lima 11       | Jesús María                | 56,4                  |
| Lima 12       | La Molina                  | 62,2                  |
| Lima 13       | La Victoria                | 39,7                  |
| Lima 14       | Lince                      | 59,9                  |
| Lima 15       | Lurigancho Chosica         | 12,4                  |
| Lima 16       | Lurín                      | 15,4                  |
| Lima 17       | Magdalena del Mar          | 62,2                  |
| Lima 18       | Miraflores                 | 103,1                 |
| Lima 19       | Pachacamac                 | 16,5                  |
| Lima 20       | Pucusana                   | 13,1                  |
| Lima 21       | Pueblo Libre               | 60,1                  |
| Lima 22       | Puente Piedra              | 18,7                  |
| Lima 23       | Punta Negra                | 14,9                  |
| Lima 24       | Punta Hermosa              | 21,6                  |
| Lima 25       | Rimac                      | 35,3                  |
| Lima 26       | San Bartolo                | 26,4                  |
| Lima 27       | San Isidro                 | 113,1                 |
| Lima 28       | Independencia              | 24,5                  |
| Lima 29       | San Juan de Miraflores     | 29,6                  |
| Lima 30       | San Luis                   | 43,9                  |
| Lima 31       | San Martín de Porres       | 33,1                  |
| Lima 32       | San Miguel                 | 68,2                  |
| Lima 33       | Santiago de Surco          | 110,5                 |
| Lima 34       | Surquillo                  | 51,7                  |
| Lima 35       | Villa María del Triunfo    | 24,2                  |
| Lima 36       | San Juan de Lurigancho     | 23,9                  |
| Lima 37       | Santa María del Mar        | 18,7                  |
| Lima 38       | Santa Rosa                 | 33,0                  |
| Lima 39       | Los Olivos                 | 2,5                   |
| Lima 40       | Cieneguilla                | 69,1                  |
| Lima 41       | San Borja                  | 22,7                  |
| Lima 42       | Villa El Salvador          | 28,0                  |
| Lima 43       | Santa Anita                | 37,6                  |
| Callao 1      | Callao                     | 43,9                  |
| Callao 2      | Bellavista                 | 50,7                  |
| Callao 3      | Camden de la Legua Reynoso | 62,4                  |
| Callao 4      | La Perla                   | 76,3                  |
| Callao 5      | La Punta                   | 10,1                  |
| Callao 6      | Ventanilla (+ Mi Perú)     | 4,5                   |



aquafondo

INVERSIÓN EN AGUA PARA LIMA

[www.aquafondo.org.pe](http://www.aquafondo.org.pe)