

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**METABOLISMO URBANO DE LA CIUDAD DE HUANCVELICA,  
PERÚ**

**Tesis para obtener el título profesional de INGENIERA CIVIL**

**AUTORA:**

Fiorella Miluska Guerrero Fano

**ASESOR:**

Ian Vázquez Rowe, PhD

Lima, Mayo, 2022.

## RESUMEN

Debido al gran crecimiento poblacional en las áreas urbanas, las consecuencias del incremento de la demanda de recursos necesarios para el bienestar de los habitantes afectan la sostenibilidad de las ciudades. El metabolismo urbano consiste en la cuantificación de los principales flujos de materia y energía, en términos de flujos de masa, que ocurren en la ciudad de estudio. En este estudio, en concreto, se describe el metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, ubicada en el ande peruano, a fin de conocer el funcionamiento de esta. Para ello, se emplea la metodología análisis de flujo de materiales y como metodología complementaria, se emplea el análisis de ciclo de vida, para lo cual se realiza el modelado en el software SimaPro a partir del inventario obtenido del metabolismo urbano.

Se analiza la contribución de las actividades metabólicas en las categorías de impacto seleccionadas para el estudio y en la huella de carbono que se genera en el sistema definido. Así, se estima que la huella de carbono de la ciudad de Huancavelica es 106.34 kt CO<sub>2</sub>eq, cifra en la que influyen la producción y consumo de combustibles fósiles y biomasa, alimentos y materiales de construcción como principales actividades emisoras de contaminantes. El presente estudio busca promover que los formuladores de políticas públicas entiendan el funcionamiento de sus ciudades y apliquen estrategias adecuadas, compatibles con el desarrollo sostenible, de acuerdo con las necesidades propias del área y población. Por consiguiente, se protege el medio ambiente, se mejoraría la calidad de vida de la población actual y se garantizarían los recursos naturales para que las futuras generaciones satisfagan sus necesidades. Al generar el crecimiento sostenible, se busca reducir la brecha del índice de desarrollo humano existente en la ciudad de estudio, el cual es el mínimo valor a nivel de Perú según el último informe por provincias del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

**Palabras clave:** Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Análisis de Flujo de Materiales (AFM), desarrollo sostenible, Índice de Desarrollo Humano (IDH), metabolismo urbano.

## ABSTRACT

Due to the great population growth in urban areas, the consequences of the increase in the demand for resources necessary for the survival of the inhabitants affect the sustainability of cities. This research describes the urban metabolism of Huancavelica, a high-altitude Andean city in Peru to know its functioning; for which the material flow analysis methodology is used. Urban metabolism consists of the quantification of the main flows of matter and energy, in terms of mass flows, that occur in the city of study. As a complementary methodology, life cycle analysis is used, for which modeling is carried out in the SimaPro software from the inventory obtained from urban metabolism.

The contribution of metabolic activities in the impact categories selected for the study and in the carbon footprint generated in the defined system is analyzed. Thus, it is estimated that the carbon footprint of the city of Huancavelica is 106.34 kt CO<sub>2</sub>eq and it is determined that the production and consumption of fossil fuels and biomass, food and construction materials are the main emitters of pollutants. The purpose of this study is to promote the formulation of public policies that promote the sustainable development of the city. By generating sustainable growth, it seeks to reduce the gap in the existing human development index in the city of study, which is the minimum value at the level of Peru according to the latest report by provinces of the United Nations Development Program.

**Keywords:** Human Development Index (HDI), Life Cycle Analysis (LCA), Material Flow Analysis (MFA), sustainable development, urban metabolism.

## AGRADECIMIENTO

Agradecida con el dios en el que creo y, mis padres y hermanas, por aconsejarme e impulsarme siempre a seguir luchando por cumplir cada una de mis metas; por acompañarme, darme su amor incondicional y celebración sincera por cada paso que doy.

Orgullosa y agradecida por mi alma mater, la PUCP, de la que guardo todo recuerdo desde mi ingreso, por las enseñanzas no solo académicas sino también en el ámbito social, por los grandes profesionales docentes, por todas las amistades, sobre todo por las buenas y que aún mantengo.

A mi asesor, Ian, por la paciencia y apoyarme en el reto que ha llevado el desarrollo de esta investigación.

A cada una de las personas que me ha impulsado en todo momento a terminar esta tesis de pregrado y poder sustentarla: mi familia, mis amigos, mi jefe y compañeros de trabajo.

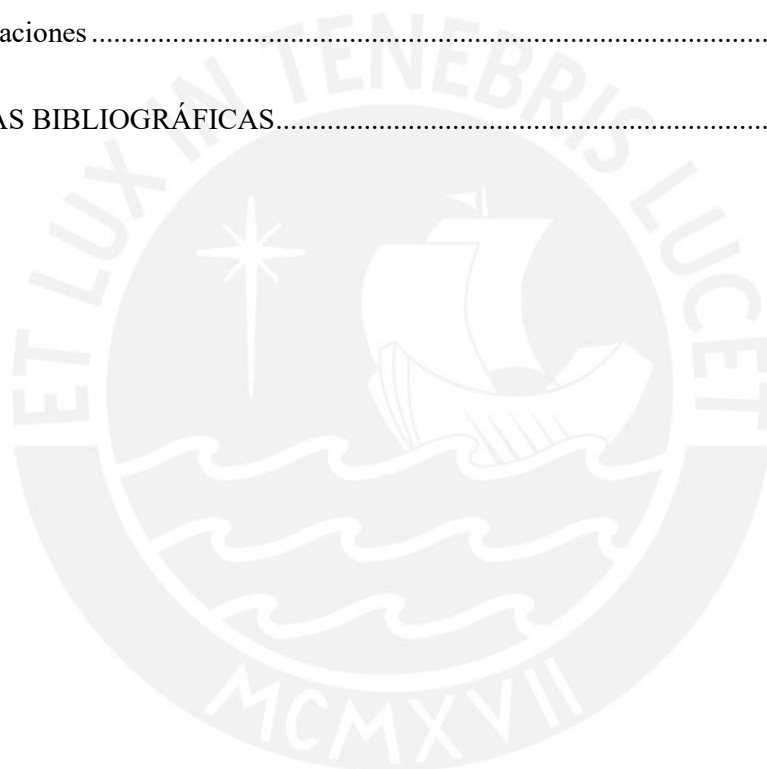
Por último, y más importante, me agradezco todo lo vivido en mi etapa universitaria, aciertos y errores que llevan a grandes experiencias que contribuyen a que cada día pueda crecer como profesional, pero, sobre todo, como persona. Por quien soy, para caerme y levantarme todas las veces que sean necesarias y que no se pierdan nunca las ganas de seguir esforzándome hasta llegar a ser quien quiero ser.

Fiorella Guerrero Fano

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....                                      | 1  |
| 1.1. Introducción.....  | 1  |
| 1.2. Objetivos.....   | 2  |
| 1.2.1. Objetivo general .....   | 2  |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....                                       | 2  |
| 1.3. Hipótesis .....  | 3  |
| 1.4. Justificación .....  | 3  |
| 2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....                                       | 5  |
| 2.1. El desarrollo sostenible en la comunidad internacional.....        | 5  |
| 2.2. Perú y el desarrollo sostenible .....                              | 6  |
| 2.3. El metabolismo urbano como herramienta de sostenibilidad .....     | 7  |
| 2.4. Metodología del metabolismo urbano .....                           | 10 |
| 2.5. Análisis de flujo de materiales (AFM) .....                        | 12 |
| 2.6. Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....                              | 13 |
| 3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....  | 15 |
| 3.1. Descripción de la metodología .....                                | 15 |
| 4. CAPÍTULO 4: CASO DE ESTUDIO.....                                     | 18 |
| 4.1. Descripción del problema/contexto socioeconómico .....             | 18 |
| 4.2. Delimitación del sistema.....                                      | 19 |
| 4.3. Recolección de información .....                                   | 21 |
| 5. CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                             | 27 |
| 5.1. Análisis de flujos y comparación con otras ciudades .....          | 27 |
| 5.1.1. Entradas y existencias en el ecosistema urbano Huancavelica..... | 27 |
| 5.1.1.1. Agua .....   | 27 |
| 5.1.1.2. Alimentos .....  | 34 |
| 5.1.1.3. Combustibles fósiles y biomasa .....                           | 38 |
| 5.1.1.4. Materiales de construcción.....                                | 41 |
| 5.1.1.5. Electricidad.....  | 45 |
| 5.1.1.6. Espacios verdes .....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| 5.1.1.7. Transporte.....  | 52 |
| 5.1.2. Salidas del ecosistema urbano Huancavelica .....               | 54 |
| 5.1.2.1. Aguas residuales.....  | 54 |
| 5.1.2.2. Residuos sólidos.....  | 59 |
| 5.1.2.3. Calidad y emisiones al aire.....                             | 63 |
| 5.2. Análisis del metabolismo urbano.....                             | 70 |
| 5.3. Presión ambiental: huella de carbono e impactos ambientales..... | 73 |
| 6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                    | 79 |
| 6.1. Conclusiones.....  | 79 |
| 6.2. Recomendaciones .....  | 80 |
| 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                    | 83 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Información general del distrito de Huancavelica, Perú en 2017. ....   | 20 |
| Tabla 2. Escala y fuente de datos de los flujos metabólicos de ingreso al sistema de estudio.....   | 23 |
| Tabla 3. Escala y fuente de datos de los flujos metabólicos de ingreso al sistema de estudio.....   | 25 |
| Tabla 4. Caudal de contribución de las captaciones de agua en la ciudad de Huancavelica. ....   | 29 |
| Tabla 5. Número de habitantes que atienden las Juntas Administrativas de los Servicios de Saneamiento (JASS) en la ciudad de Huancavelica, en el 2017.....                      | 30 |
| Tabla 6. Estimación del consumo de agua potable anual per cápita en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.....  | 33 |
| Tabla 7. Combustibles que se emplean para cocinar los alimentos en los hogares de la región Huancavelica, Perú en el 2017.....  | 39 |
| Tabla 8. Estimación de la demanda anual per cápita de combustibles fósiles en el departamento de Huancavelica para el año 2017. ....  | 39 |
| Tabla 9. Ocupantes por tipo de vivienda en la ciudad de Huancavelica, Perú en el 2017.....  | 41 |
| Tabla 10. Material de construcción predominante en las paredes exteriores de las viviendas particulares con personas presentes en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017. .... | 42 |
| Tabla 11. Material de construcción predominante en los techos de las viviendas particulares con personas presentes en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.....              | 43 |
| Tabla 12. Material de construcción predominante en los pisos de las viviendas particulares con personas presentes en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.....               | 43 |
| Tabla 13. Mercado de energía eléctrica de la región Huancavelica en el año 2017 y estimación del consumo anual por habitante para la ciudad de estudio.....                     | 47 |
| Tabla 14. Consumo de energía y facturación por sector económico en la región Huancavelica en el año 2017. ....  | 47 |
| Tabla 15. Consumo de energía por actividades de los sectores económicos comercial y servicios e industrial. ....  | 48 |
| Tabla 16. Longitud de la red vial por tipo de superficie de rodadura en el departamento de Huancavelica, Perú en 2017. (En kilómetros) .....                                    | 52 |
| Tabla 17. Puntos de descarga, al río Ichu, del 99% de aguas residuales que se generan en la ciudad de Huancavelica.....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 18. Detalle de tanques sépticos que recolectan el 1% de aguas residuales de la ciudad de Huancavelica, Perú. ....   | 56 |
| Tabla 19. Estimación de la generación de aguas residuales anual per cápita en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017. ....  | 57 |
| Tabla 20. Concentración de componentes de aguas residuales sin tratamiento para una generación diaria de 146.5 litros per cápita. ....                                      | 58 |
| Tabla 21. Estimación de la concentración de constituyentes en el total de aguas residuales descargadas en la ciudad de Huancavelica para el año 2017. ....                  | 58 |
| Tabla 22. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Huancavelica, 2016. ....   | 60 |
| Tabla 23. Concentraciones diarias promedio de contaminantes atmosféricos y calidad del aire en la ciudad de Huancavelica en el año 2014. ....                               | 66 |
| Tabla 24. Estimación de emisiones de otros contaminantes atmosféricos por habitante, en el año 2017. ....   | 67 |
| Tabla 25. Estimación de las emisiones atmosféricas contaminantes anuales generados por el parque automotor en la ciudad de Huancavelica. ....                               | 67 |
| Tabla 26. Emisiones de GEI, en Perú, por consumo final de energía y por sectores económicos, en el año 2017. ....   | 69 |
| Tabla 27. Estimación de emisiones de GEI por habitante, en Perú, en el año 2017. ....   | 69 |
| Tabla 28. Análisis de impacto del metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017, usando el método ReCiPe 2016 Midpoint (H). ....                    | 74 |
| Tabla 29. Impacto de los flujos metabólicos de la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017, en la huella de carbono empleando el método IPCC 2013 100a de SimaPro. .... | 75 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Comparación entre los valores de Índice de Desarrollo Humano (IDH) del departamento de Huancavelica y Perú. ....   | 4  |
| Figura 2. 17 de Objetivos de Desarrollo Sostenible aprobados en la Agenda 2030. ....   | 6  |
| Figura 3. La ecología industrial como campo de investigación de sostenibilidad y sus perspectivas de sistema. ....   | 8  |
| Figura 4. Modelo de análisis de flujos de materiales en un sistema desarrollado en el software STAN. ....  | 13 |
| Figura 5. Proceso de desarrollo de la metodología de la presente investigación: Metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú. ....  | 17 |
| Figura 6. Ubicación geográfica del distrito de Huancavelica, Perú. ....  | 20 |
| Figura 7. Delimitación geográfica de la ciudad de Huancavelica, Perú. ....   | 20 |
| Figura 8. Flujos para considerar en el estudio de metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú. ....  | 22 |
| Figura 9. Ámbito en el que EMAPA Huancavelica S.A. tiene derecho a distribuir el agua potable. ....  | 28 |
| Figura 10. Esquema general del sistema de agua potable suministrado por la empresa prestadora de servicios en la ciudad de Huancavelica. ....  | 28 |
| Figura 11. Distribución de los 19 sistemas paralelos de las Juntas Administrativas de los Servicios de Saneamiento (JASS) en la ciudad de Huancavelica. ....   | 30 |
| Figura 12. Cobertura de agua potable en la ciudad de Huancavelica según porcentaje de población a la que atienden EMAPA Huancavelica S.A. y Juntas Administradoras, y población sin cobertura del servicio. .... | 32 |
| Figura 13. Consumo promedio diario de agua por habitante en las ciudades de Huancavelica, San Isidro, Moquegua y Santiago de Compostela. ....  | 34 |
| Figura 14. Porcentaje aproximado de gasto en alimentación con respecto al ingreso mensual promedio por habitante en las ciudades de Huancavelica, Lima, Moquegua y Madrid para el año 2010. ....                 | 36 |
| Figura 15. Comparación de la demanda de combustibles en las regiones Huancavelica, Lima y Moquegua, en Perú para el año 2017. ....   | 40 |
| Figura 16. Consumo anual promedio de cemento por habitante en las regiones de Huancavelica, Lima, Moquegua y a nivel nacional en España, para el año 2017. ....  | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 17. Consumo promedio de energía eléctrica por hogar en las regiones de Huancavelica, Lima, Moquegua y España para el año 2017. ....   | 49 |
| Figura 18. Dotación de espacios verdes públicos en las ciudades de Huancavelica, Moquegua, San Isidro y Madrid para el año 2015. ....  | 52 |
| Figura 19. Número de vehículos por cada mil habitantes en las ciudades de Huancavelica, Moquegua, Lima y Madrid en el año 2016. ....   | 53 |
| Figura 20. Esquema general del sistema de alcantarillado en la ciudad de Huancavelica. ....  | 55 |
| Figura 21. Botadero Pampachacra, donde se depositan los residuos sólidos generados en la ciudad de Huancavelica, ubicado fuera de la delimitación en espacio del sistema de estudio. ....  | 62 |
| Figura 22. Distribución porcentual de emisiones contaminantes al aire procedentes de fuentes fijas en la ciudad de Huancavelica. ....  | 64 |
| Figura 23. Distribución porcentual de emisiones contaminantes al aire procedentes de fuentes móviles en la ciudad de Huancavelica. ....  | 65 |
| Figura 24. Distribución porcentual de emisiones de los principales GEI (dióxido de carbono, metano y óxido nítrico) por consumo de energía según sector económico en Perú. ....  | 70 |
| Figura 25. Análisis de metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú para el año 2017. ....  | 72 |
| Figura 26. Emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017, empleando el método IPCC 2013 100a de SimaPro. ....  | 75 |
| Figura 27. Porcentaje de influencia de las categorías de alimentos en la huella de carbono estimada para la dieta de la población en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017. ....  | 77 |
| Figura 28. Distribución porcentual de las emisiones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) y metano (CH <sub>4</sub> ) generadas por los combustibles fósiles y biomasa en la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017 obtenido con el método IPCC 2013 100a. .... | 78 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|             |   |
|-------------|---|
| ACV         | Análisis de Ciclo de Vida   |
| AFM         | Análisis de Flujo de Materiales   |
| AMPE        | Asociación de Municipalidades del Perú  |
| ASOCEM      | Asociación de Productores de Cemento  |
| DQO         | Demanda Química de Oxígeno  |
| ECA         | Estándar de Calidad Ambiental   |
| EMAPA HVCA. | Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Huancavelica                                      |
| ENAHO       | Encuesta Nacional de Hogares  |
| ENAPREF     | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares  |
| EPS         | Empresa Prestadora de Servicios   |
| ESDA        | Estudio de Desempeño Ambiental  |
| FAO         | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura<br>(por sus siglas en inglés) |
| GEI         | Gas de Efecto Invernadero   |
| GLP         | Gas Licuado de Petróleo   |
| GRT         | Gerencia de Regulación Tarifaria  |
| IDH         | Índice de Desarrollo Humano   |
| IMP         | Instituto Metropolitano de Planificación  |
| INEI        | Instituto Nacional de Estadística e Informática   |
| INECC       | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático   |
| IPCC        | Panel Intergubernamental del Cambio Climático (por sus siglas en inglés)                                |
| IPE         | Instituto Peruano de Economía   |
| ISO         | International Organization for Standardization (por sus siglas en inglés)                               |
| JASS        | Juntas Administradoras de los Servicios de Saneamiento  |
| MBPD        | Miles de barriles por día   |
| MINAM       | Ministerio del Ambiente   |
| MINEM       | Ministerio de Energía y Minas   |
| MTC         | Ministerio de Transportes y Comunicaciones  |
| ODS         | Objetivos de Desarrollo Sostenible  |
| OEFA        | Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental   |
| OMS         | Organización Mundial de la Salud  |
| ONU         | Organización de las Naciones Unidas   |

|            |  |
|------------|--|
| OPS        | Organización Panamericana de la Salud                      |
| OSINERGMIN | Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería  |
| PAMA       | Programa de Adecuación y Manejo Ambiental                  |
| PBI        | Producto Bruto Interno                                     |
| PCA        | Potencial de Calentamiento Atmosférico                     |
| PELCAN     | Red Peruana de Ciclo de Vida y Ecología Industrial         |
| PIGRS      | Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos               |
| PNUD       | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo         |
| PNUMA      | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente     |
| PTAP       | Planta de Tratamiento de Agua Potable                      |
| PTAR       | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales                  |
| RNE        | Reglamento Nacional de Edificaciones                       |
| RUC        | Registro Único de Contribuyentes                           |
| SENAMHI    | Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú    |
| SIAR       | Sistema de Información Ambiental Regional                  |
| SIGERSOL   | Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos |
| SINIA      | Sistema Nacional de Información Ambiental                  |
| SUNASS     | Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento      |
| WWF        | World Wild Fun for Nature                                  |
| ZAP        | Zona de Alta Prioridad                                     |

## 1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

En el 2016, el Banco Mundial advierte que la población urbana alcanzaba el 54% de la población mundial total y que esta se vería incrementada a un 70% para el año 2050 debido a la creciente urbanización (Maranghi et al., 2020). A medida que se desarrolla el crecimiento poblacional en las áreas urbanas, se incrementa el consumo de energía y materiales necesarios para el bienestar de los habitantes, lo que afecta directamente al medio ambiente por la generación de residuos e importantes emisiones de contaminantes (García-Guaita et al., 2018). Esto impacta negativamente en la sostenibilidad de las ciudades puesto que se generan grandes desafíos para los gestores públicos respecto al manejo adecuado de la preservación de recursos y tratamiento de residuos a fin de disminuir la contaminación ambiental. Así, debido a los impactos ambientales negativos ocasionados en cada una de las etapas del ciclo de vida de los productos y servicios, es necesario considerar a las ciudades como organismos relevantes para alcanzar el desarrollo sostenible en las regiones urbanas (García-Guaita et al., 2018).

El desarrollo sostenible, como concepto, surge en base a la preocupación por las consecuencias negativas en el medio ambiente producto de la industrialización y el crecimiento poblacional. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el desarrollo sostenible consiste en manejar adecuadamente los recursos para que la población actual satisfaga sus necesidades sin comprometer el alcance a recursos y satisfacción de necesidades de las futuras generaciones (ONU, 2015). En 2015, la ONU aprobó 17 objetivos globales como parte de la Agenda 2030 para Desarrollo Sostenible a fin de promover el desarrollo de ciudades sostenibles como solución de perspectiva global. Esto es, enfatizar la importancia de reducir la huella ecológica que se genera en las ciudades y que estas sigan creciendo económica y socialmente pero dentro de su capacidad de carga ambiental (D'Amico et al., 2020). Se busca, de esta manera, afrontar los desafíos a los que se enfrenta la humanidad y garantizar la igualdad de oportunidades a partir de lograr el equilibrio entre el crecimiento económico, desarrollo social y protección del medio ambiente (Acciona, sostenibilidad para todos, 2018).

En este sentido, es importante que los formuladores de políticas públicas entiendan el funcionamiento de sus ciudades y enfrenten los nuevos desafíos debido a la creciente urbanización con estrategias y necesidades urbanas específicas (D'Amico et al., 2020). Las ciudades son sistemas complejos por naturaleza y no se puede predecir su comportamiento si no es a partir de la interacción entre los procesos que ocurren en estas (Axelrod y Cohen, 1999

en Maranghi et al., 2020). Surge así el metabolismo urbano, como un enfoque importante de la ecología industrial en su intento por describir y caracterizar las ciudades a partir de la cuantificación de flujos de materiales y energía en búsqueda de la producción y consumo sostenibles (Lifset y Graedel, 2015).

Las herramientas más utilizadas en el campo de la ecología industrial son el análisis de flujo de materiales (AFM) y el análisis de ciclo de vida (ACV). El presente estudio tiene como base estimar el metabolismo urbano de la ciudad altoandina Huancavelica, ubicada en la sierra de Perú, para lo cual se emplea el AFM como metodología principal. Cuantificados los flujos de consumo y stock de materiales que ocurren en la ciudad de estudio, y tomando esto como inventario base, se estima la carga ambiental que generan estos procesos en la ciudad, para lo cual se aplica el ACV como metodología complementaria.

Es importante resaltar que el metabolismo de una ciudad es específico de un lugar y depende del contexto geográfico, económico, demográfico y climático (Maranghi et al., 2020). Se debe entender el cambio creciente en el stock del metabolismo urbano de gran porcentaje de ciudades del mundo, el cual se debería a que nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo se están acumulando en estas (Kennedy et al., 2010). Así también, el metabolismo urbano debería ser complementado o combinado con otras metodologías de evaluación o de otros enfoques a fin de generar una buena interpretación de resultados (Sahely et al., 2002, citado por Sahely et al. 2003). Con este tipo de estudios, a nivel internacional, se busca disminuir la huella ecológica generada por la actividad humana y así, reducir los problemas ambientales generados por la misma. Por esto, se promueve el desarrollo sostenible de las ciudades; es decir, se busca integrar crecimiento económico, desarrollo social equitativo y protección del medio ambiente.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Estimar el metabolismo urbano y la carga ambiental en la ciudad de Huancavelica, Perú, a fin de promover la formulación de políticas públicas compatibles con el desarrollo sostenible, por parte de las autoridades respectivas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Presentar los principales flujos a analizar en el estudio del metabolismo urbano, las entidades encargadas de su monitoreo y su consumo en la ciudad de Huancavelica, Perú.

2. Estimar el inventario de flujos de entrada y salida en la ciudad de Huancavelica, Perú con la metodología AFM.

3. Determinar y analizar la contribución de los flujos considerados en la huella de carbono y las categorías de impacto, elegidas para este estudio, en la ciudad de Huancavelica, Perú a partir de la metodología complementaria ACV.

### **1.3. Hipótesis**

1. La falta de datos de calidad disminuye la precisión del estudio y esto es por la inexistencia de un sistema integrado de información monitoreado por los entes públicos responsables de la gestión de recursos y residuos en la ciudad de Huancavelica, Perú.

2. El estudio del metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú, enfoca los puntos de preocupación al manejo inadecuado de los flujos de salida del sistema, tales como falta de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos municipales.

3. El análisis de la carga ambiental en la ciudad de Huancavelica indica que la disposición final de residuos sólidos y aguas residuales son los flujos de mayor impacto negativo en el ambiente.

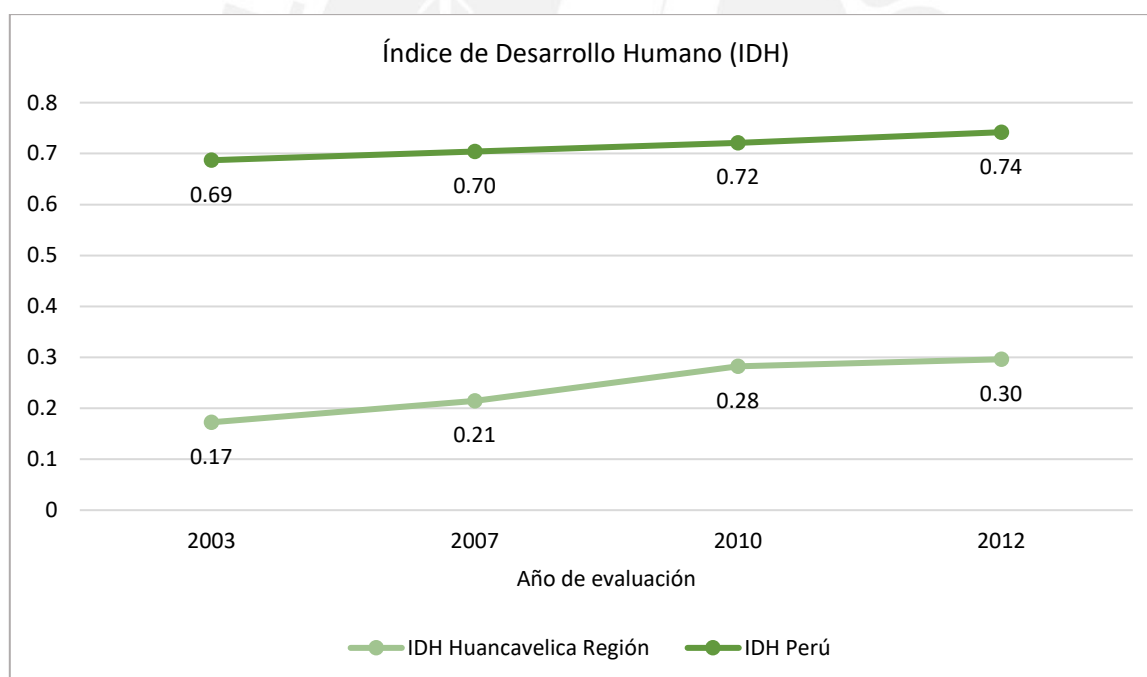
### **1.4. Justificación**

Anualmente, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) presenta un informe con los resultados de las evaluaciones que realiza en diversas zonas a nivel internacional. El indicador de estas evaluaciones es el índice de desarrollo humano (IDH), el cual mide la calidad de vida de las poblaciones basándose en 3 factores primarios de desarrollo: esperanza de vida (larga y saludable), acceso a educación y el nivel de ingresos (IPE, 2017). En Perú, uno de los índices de desarrollo humano más bajos se presenta en el departamento de Huancavelica, motivo por el cual se ha elegido la ciudad de Huancavelica para estudio en la presente investigación (ver Figura 1). Se estima el metabolismo urbano de la mencionada ciudad con la finalidad de conocer y evaluar el funcionamiento de esta y, así, promover la toma de decisiones en base a las necesidades específicas de la zona urbana por parte de los actores políticos responsables.

La finalidad del presente estudio es mostrar las cantidades de flujos que ingresan, salen y se almacenan en la ciudad, así como la carga ambiental que estos generan a fin de que las autoridades encargadas identifiquen los puntos de preocupación e implementen estrategias de desarrollo sostenible como solución. Esto porque, como ya se mencionó, si hay sostenibilidad

en una ciudad, hay equilibrio entre el crecimiento económico, desarrollo social y protección ambiental, lo cual reduce la brecha de IDH que presenta Huancavelica al mejorar la calidad de vida de la población. Se busca evitar, así, que el valor del IDH revelado por el PNUD en sus futuros informes siga reduciendo su valor producto del ineficiente manejo de recursos y otros factores causantes del bajo nivel de crecimiento en dicha ciudad.

Asimismo, se espera fomentar la réplica de este estudio en otras ciudades a fin de que los formuladores de políticas públicas puedan desarrollar planes que influyan en la conservación de recursos y, buen manejo de los residuos y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados (Céspedes y Morales, 2018). Si bien es mejor entender a la sostenibilidad como un mito social en evolución, es importante que los ingenieros asocien y entiendan los nuevos aspectos (social y ambiental) que implica resolver problemas en la actualidad pese a las restricciones (Allenby, 2012 citado en Kahhat, 2019). Es ideal que un ingeniero civil, al estar involucrado en distintos tipos de proyectos ingenieriles, sea capaz de determinar el costo tanto ambiental como económico del proyecto (Sahely et al., 2002).



*Figura 1.* Comparación entre los valores de Índice de Desarrollo Humano (IDH) del departamento de Huancavelica y Perú.

Adaptado de Human Development Reports, por United Nations Development Programme, 2020 e Índice de Desarrollo Humano, en Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013, por Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2013.



## 2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1. El desarrollo sostenible en la comunidad internacional

Desde su existencia, inclusive antes de que surja la actividad económica como intercambio de bienes entre sí, el ser humano consumía recursos necesarios para su sobrevivencia y, como resultado, generaba residuos que impactaban directamente en su hábitat. La Revolución Industrial en el siglo XVIII generó la aceleración del gasto de energía, el agotamiento de los servicios naturales, la concentración de gran porcentaje de habitantes en las zonas urbanas y el establecimiento del capitalismo en la economía señala Gómez (2014). Así, lo que las primeras generaciones solucionaban desplazándose de un lugar a otro, en búsqueda de recursos en nuevas tierras, ya no es posible como solución por la densificación poblacional a nivel mundial (Schumacher, 1973 en Gómez 2014). En este sentido, debido a la magnitud y extensión del impacto generado por el vínculo entre los desarrollos económico y social en el medio ambiente, a nivel internacional, se origina el desarrollo sostenible como concepto (ONU, 2015).

En 1987, la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en un reporte emitido, define el desarrollo sostenible (Díaz, 2018). Este concepto implica satisfacer las necesidades actuales de la población sin poner en riesgo los recursos naturales para que las siguientes generaciones satisfagan sus propias necesidades explica Díaz (2018). En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, en la que se establecieron 17 objetivos (ver Figura 2), a manera de acuerdo internacional, para que los países promuevan la prosperidad y protejan el medio ambiente, al mismo tiempo (ONU, 2015). Estos objetivos buscan enfatizar la importancia de reducir la huella ecológica y que las ciudades crezcan dentro de su capacidad de carga ambiental (D'Amico et al., 2020), es decir, busca que se impliquen los factores social y ambiental en el crecimiento económico de las ciudades. Así, se plantea que, con el cumplimiento de estos objetivos, se reduzcan problemáticas actuales a nivel mundial tales como conflictos violentos, abusos contra los derechos humanos, cambio climático y degradación ambiental. Algunos de los objetivos trazados son: eliminar la pobreza, combatir el cambio climático, educación, igualdad de la mujer, defensa del medio ambiente y diseño de nuestras ciudades (ONU, 2015).



Figura 2. 17 de Objetivos de Desarrollo Sostenible aprobados en la Agenda 2030.

Tomado de Objetivos de Desarrollo Sostenible, por Naciones Unidas en el Perú, 2020. Copyright 2022 por Fiorella Guerrero.

## 2.2. Perú y el desarrollo sostenible

El Perú forma parte de la ONU y, por tanto, está comprometido a “trabajar en pro de la paz y el desarrollo, sobre la base de los principios de justicia, dignidad humana y bienestar de todos los pueblos” (Naciones Unidas, 2020). De esta manera, Perú participa en el acuerdo internacional para cumplir con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aprobados en la Agenda 2030 por los estados miembros, en base a consultas nacionales realizadas en las zonas más vulnerables de cada país. La finalidad de la cooperación internacional es brindar bienestar y calidad de vida a las personas, donde prime la igualdad de oportunidades y, de esta manera, se reduzca la pobreza sin comprometer el medio ambiente.

El Estado es el principal responsable en promover tanto la participación de los actores involucrados, como actividades de desarrollo cuyo objetivo sea la eliminación de pobreza y protección del medio ambiente. El Ministerio del Ambiente (MINAM) enfoca sus acciones en los ejes estratégicos de Perú Limpio, Perú Natural y Perú Inclusivo, a través de los cuales promueve la incorporación de la variable ambiental en el desarrollo de políticas públicas en los diferentes niveles de gobierno (MINAM, 2019). Asimismo, el MINAM ha “consolidado la evaluación de impacto ambiental como soporte al crecimiento económico y desarrollo sostenible, ... y ha potenciado una mayor y mejor educación, y conocimiento ambiental en los ciudadanos e instituciones públicas y privadas” (MINAM, 2019). Como segundo agente responsable de cumplir con el acuerdo internacional, se encuentra el Congreso de la República. Esta institución contribuye, dentro del marco de sus funciones, con la aprobación de leyes,

reformas y resoluciones para lograr el desarrollo sostenible; así también, debe controlar políticamente el desarrollo económico y social del Perú. La Comisión Ordinaria del Congreso, en su rol fiscalizador del cumplimiento de la política ambiental integral, se ha visto forzada a crear un grupo de trabajo para supervisar los acuerdos del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA). Morales (2002), menciona que la creación del grupo de trabajo es producto de posibles evidencias que demuestran el incumplimiento de las obligaciones e inversiones en los PAMA, lo que estaría provocando daños tanto al medio ambiente como a la salud de los pobladores. En el PAMA se especifican las políticas de acciones e inversiones que deben cumplir las empresas en cuanto a reducción o eliminación de emisiones y/o vertimientos de manera que no se sobrepasen los límites máximos permisibles determinados por las autoridades competentes (MINAM, 2020c).

Si bien el Estado Peruano debe ser el principal impulsor de las políticas ambientales a fin de construir ciudades sostenibles, también se recibe inversión extranjera a fin de seguir desarrollando estrategias para cumplir objetivos de mejora ambiental a nivel nacional. En ese sentido, Perú viene desarrollando distintos tipos de proyectos de investigación referentes al tema ambiental, algunos financiados por programas globales tales como el Programa de las Naciones Unidas de Manejo Ambiental (PNUMA) que apoya a instituciones latinoamericanas. Por ejemplo, el Proyecto IKI, financiado por el Gobierno Alemán, administrado por PNUMA y con apoyo del MINAM, cuyo objetivo es promover el desarrollo de políticas públicas adecuadas por parte del Gobierno para reducir o mitigar los GEI. El objetivo principal del proyecto es “desarrollar una base de datos de inventarios de ciclo de vida en Perú para tres sectores prioritarios identificados: refinerías de hidrocarburos, rellenos sanitarios e hidroeléctricas” (PELCAN, 2020). Así también, en abril de 2020 el MINAM informa del inicio del proceso para la elaboración de una propuesta técnica para alcanzar la carbonneutralidad al año 2050. El objetivo de la propuesta es reducir a la totalidad las emisiones de carbono a largo plazo y se pretende que dicha propuesta sea la base del componente de mitigación de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático al 2050 (MINAM, 2020b). Cabe resaltar que la propuesta técnica del MINAM es desarrollada gracias al apoyo de un conjunto de iniciativas y forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI) (MINAM, 2020b).

### **2.3. El metabolismo urbano como herramienta de sostenibilidad**

La ecología industrial es un campo que viene creciendo rápidamente, impulsado por las preocupaciones sobre el impacto humano en el medio ambiente, examina los flujos de

materiales y energía a diferentes escalas en su búsqueda de producción y consumo sostenibles (Lifset y Graedel, 2015). La política de la ecología industrial se centra en reducir la magnitud de los flujos de materia y energía a fin de mejorar la autosuficiencia de las ciudades (Perrotti, 2020). Esto es, optimizar el uso de recursos a partir del cierre de bucles y reducir las emisiones de contaminantes, pues estos perduran en el medio ambiente y pueden causar daños a largo plazo a los receptores (Lifset y Graedel, 2015). Mediante “una visión de desarrollo, entendimiento y creación de dos contribuciones: un marco de trabajo para apoyar un cambio de paradigmas ... y herramientas con diferentes modelos y métodos para proveer métricas” (Cárdenas, 2016, p. 16), la ecología industrial promueve el desarrollo sostenible a nivel global, regional y local. A escala de sistemas urbanos, a la adaptación de los procesos naturales a los antropogénicos como parte de la promoción del desarrollo sostenible, se le conoce como metabolismo urbano (Cárdenas, 2016). Dentro de las herramientas de la ecología industrial que permiten medir todas las actividades y procesos de manera específica, el AFM es el método más utilizado en la contabilización de recursos (Cui, 2018; Kennedy et al., 2011 citados por Perrotti, 2020). En la Figura 3 se muestra un esquema referencial de la ecología industrial como campo de investigación de la sostenibilidad y sus perspectivas de sistema.

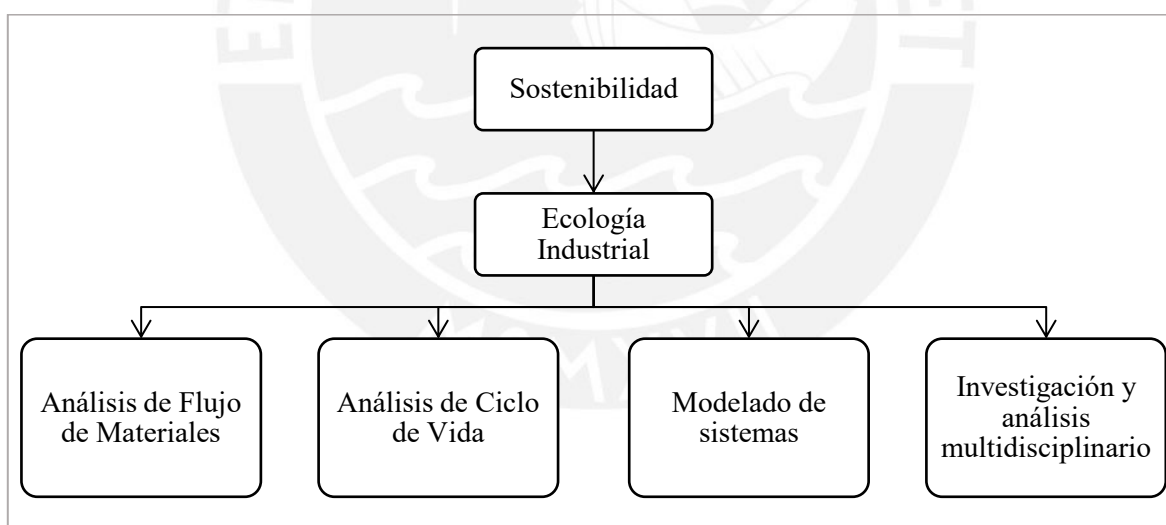


Figura 3. La ecología industrial como campo de investigación de sostenibilidad y sus perspectivas de sistema. Adaptado de Industrial Ecology, por Lifset y Graedel, 2015.

El término metabolismo urbano fue concebido en 1965 por Wolman con la finalidad de contribuir en el desarrollo sostenible de ciudades y comunidades (Kennedy et al., 2010). En 2007, Kennedy y colegas, definen el metabolismo urbano como “la suma de todos los procesos, tanto técnicos como socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desperdicios” (p. 1). Es decir, el estudio del

metabolismo urbano involucra la cuantificación de entradas, salidas y almacenamiento de energía, agua, nutrientes, materiales y desperdicios en una ciudad (Kennedy et al., 2010). Adicionalmente, se puede decir que es el estudio de las ciudades como cuerpos metabólicos (Pengue, 2009 citado por Céspedes y Morales, 2018).

En 1965, Wolman observa disminución de la calidad de agua y aire en algunas ciudades americanas e identifica, entonces, al espacio urbano como un ecosistema, en el que realiza la medición de sus actividades “metabólicas” (Kennedy et al., 2010). Es así como realiza el primer estudio de metabolismo urbano de una ciudad americana hipotética de 1 millón de habitantes. Empleó la tasa nacional de uso de agua, alimentos, combustible, y la tasa nacional de producción de aguas servidas, desperdicios y contaminantes atmosféricos; de esta manera, determinó la tasa de flujos de ingreso y salida per cápita (Kennedy et al., 2010). Si bien este estudio no generó información precisa de los flujos de materiales en la ciudad hipotética debido a la omisión de factores en el flujo de entrada, el resultado fue de gran aporte. Se concluyó que es de suma importancia el enfoque en los impactos producidos por el consumo de bienes y la generación de desechos dentro del ambiente urbano, en todo el sistema (Decker et al., 2000 en Sahely et al., 2003).

Es a partir de 1970 que se realizan los primeros estudios de metabolismo urbano en ciudades reales: Tokio (Hanya and Ambe, 1976), Bruselas (Duvigneaud and Denayer-De Smet, 1977) y Hong Kong (Newcombe et al., 1978) (Kennedy et al., 2010). En estos estudios participaron distintos profesionales como ingenieros químicos, ecologistas e ingenieros civiles. Fue Newcombe quien sugirió, a partir del estudio de los procesos metabólicos en Hong Kong, un manejo integrado del entorno urbano con enfoque en eficacia de recursos y consumo reducido (Sahely et al., 2003). Este tipo de estudios cuantitativos del metabolismo urbano, que lo expresan en términos de flujos de masa, forman parte de la segunda pero principal escuela del metabolismo urbano, debido a la practicidad de sus unidades. La primera escuela, más antigua y de sistemas ecologistas, estuvo liderada por Odum. El estudio del metabolismo urbano de esta escuela involucra su descripción en términos de energía solar equivalente, también denominado “emergy”; es decir, cuantifica los flujos en función a la cantidad de energía necesaria para generar productos o servicios (Kennedy et al., 2010). Es por la dificultad de este método que esta escuela no es la corriente principal. Entre 1980 y 1990, el estudio sobre el metabolismo urbano fue mínimo, casi nulo. Sin embargo, el término ha resurgido y los últimos 20 años han estado marcados por el incremento de la investigación del metabolismo de las ciudades (Céspedes y Morales, 2018).

Las aplicaciones prácticas de la investigación del metabolismo urbano se han desarrollado en distintos campos, por lo que estas son variadas. Desde apoyo en la toma de decisiones para los formuladores de políticas públicas, como herramienta para cuantificar las emisiones de GEI que se generan en la ciudad y como base para la planificación y diseños urbanos (Perrotti, 2020). Así, el metabolismo urbano representa una plataforma integrada para analizar la dinámica urbana y apoyar en la planificación de las ciudades como sistemas socioecológicos dentro del concepto y la práctica de la sostenibilidad (Chrysoulakis et al., 2013; Zhang, 2013, citados por Céspedes y Morales, 2018).

Hoy en día, los estudios de metabolismo en las ciudades combinan aspectos socioeconómicos a la cuantificación histórica empleando las herramientas tradicionales como análisis de “emergy” o AFM (Céspedes y Morales, 2018). Esto porque, si bien el metabolismo urbano tiene dos dimensiones: tangible (intercambio de materia y energía entre sistemas urbano y ambiental) e intangible (aspectos socioeconómicos), y habiendo este último marcado la evolución del metabolismo urbano como concepto desde su concepción por Wolman, no ha sido posible resolver la integración de dichas dimensiones (Céspedes y Morales, 2018). En este punto, es importante resaltar que la principal limitación del estudio de metabolismo urbano es la dificultad de recolección de información de calidad.

#### **2.4. Metodología del metabolismo urbano**

Para modelar el metabolismo urbano de una ciudad es importante delimitar el sistema en tiempo y espacio, y seleccionar las actividades metabólicas más representativas y cuya cuantificación sea accesible y confiable. El principio básico del metabolismo urbano es la ley de conservación de la materia o masa, descubierta por Antoine Lavoisier en 1785; al estudiar un sistema delimitado y al no destruirse la masa en este, “las entradas totales en un proceso son iguales a las salidas más el incremento de existencias” (Sahely et al., 2003, p. 472). La metodología del metabolismo urbano, según Sahely y colegas (2003), se resume en cinco pasos obtenidos del trabajo pionero de Baccini y Brunner (1991), y de otros trabajos (Hendricks et al., 2000; Warren- Rhodes and Koenig, 2001). Estos pasos principales son: “(1) Definición de los objetivos y preguntas de investigación del estudio, (2) Descripción del sistema, (3) Recolección de datos, (4) Balance de materiales, y (5) Interpretación” (Sahely et al., 2003, p.470).

Los ingenieros, generalmente, tienen práctica en el balance de materiales con sustancias en particular y no en sistemas completos, según Baccini y Brunner (1991); así, el AFM no es

ajeno a la ingeniería. A continuación, se muestran las ecuaciones de balance de masa presentadas por Douglas (1983) con la finalidad de realizar el paso cuatro de la metodología de metabolismo urbano (Alberti, 1996 en Sahely et al.,2003).

Ecuación 1. Balance energético urbano superficial:

$$Q_S + Q_F + Q_I = Q_L + Q_G + Q_E$$

donde:

$Q_S$ : tasa de entrada de energía del sol

$Q_F$ : tasa de generación de calor debido a la combustión y disipación en maquinaria.

$Q_I$ : tasa de entrada de calor desde el interior de la tierra.

$Q_L$ : tasa de pérdida de calor por evapotranspiración.

$Q_G$ : tasa de pérdida de calor por conducción al suelo, edificios, carreteras, etc.

$Q_E$ : tasa de pérdida de calor por radiación.

Ecuación 2. Balance hídrico urbano:

$$P + D + A + W = E + R_s + S$$

donde:

P: precipitación

D: rocío o vapor de agua que se congela en superficies (suelo, plantas, etc.)

A: agua liberada de recursos antropogénicos.

W: infiltración

E: evaporación

$R_s$ : escorrentía superficial y de subsuelo.

S: variación en el almacenamiento del agua.

Ecuación 3. Estimación de material urbano:

$$M_S = M_O + W_F + W_A + M_C + M_T$$

donde:

$M_S$ : cantidad de materiales suministrados a la ciudad

$M_O$ : materiales exportados

$W_F$ : materiales de desechos sólidos y líquidos

$W_A$ : contaminantes atmosféricos descargados del uso de materiales

$M_C$ : material convertido a través de la producción de calor u otros procesos

$M_T$ : adición de materiales al tejido urbano y al stock

Las unidades del balance de energía están en Joules por unidad de tiempo, mientras que las unidades de los balances de agua y materiales están en masa (gramos o kilogramos) por unidad de tiempo (Baccini y Brunner, 1991; Hendriks et al., 2000 citados por Sahely et al., 2003). Si bien estas ecuaciones son de mucha utilidad para realizar un estudio de metabolismo urbano, estas se expresan desde el enfoque teórico puesto que, en la práctica, es difícil cuantificar la información requerida en cada uno de los procesos. Como se ha mencionado anteriormente, la principal limitación de este tipo de estudios es el acceso a información de calidad para cuantificar los principales flujos que ocurren en las ciudades, lo que acompleja la aplicación de dichas ecuaciones. De esta manera, este estudio presenta un modelo lineal simplificado de AFM en áreas urbanas. Es decir, se cuantifican y evalúan los flujos y concentraciones físicas que ocurren dentro del sistema a fin de reconocer los puntos de críticos en la ciudad de estudio.

## **2.5. Análisis de flujo de materiales (AFM)**

Laner y colegas (2016) explican que el AFM facilita información útil sobre los patrones de empleo de recursos y la pérdida de materiales que ingresan al medio ambiente. La cuantificación se obtiene a partir de la recolección, procesamiento y, análisis de información sobre flujos físicos y almacenamiento de distintas fuentes. De esta manera, se puede conocer el comportamiento del sistema urbano de estudio con base en sus redes de consumo y generación de residuos. El sistema debe ser delimitado en tiempo y espacio con el propósito de investigar solo lo que ocurre dentro del mismo y obtener datos de calidad para un resultado confiable.

Para la realización de modelos de AFM, un software gratuito y de mucha utilidad es STAN, el cual se rige bajo la norma Austriaca ÖNorm S 2096 (AFM – aplicación en manejo de residuos). En el software, se construye el modelo con los componentes del AFM (flujos, procesos, delimitación), se ingresa la información necesaria (se diferencian capas y periodos) y, mediante el balance de masa, se determinan cantidades desconocidas (Technische Universität Wien, 2012). STAN tiene a Microsoft Excel como interfaz y se pueden añadir las



incertidumbres de los datos; así mismo, el algoritmo de cálculo utiliza herramientas de estadística como la propagación de errores y reconciliación de datos (Technische Universität Wien, 2012). En la Figura 4 se muestra, como ejemplo modelado en STAN, un sistema delimitado en el que ingresan y salen flujos de materiales, se desarrollan procesos y la masa permanece constante. En el sistema se cumple el balance de masas: total ingresos = total salidas + almacenamiento. Se entiende por materiales a los bienes y sustancias; por flujo, materiales que ingresan y salen de un proceso; por proceso, transformación, transporte o almacenamiento de materiales; por stock, almacenamiento de materiales; y por frontera, delimitación del sistema en tiempo y espacio.

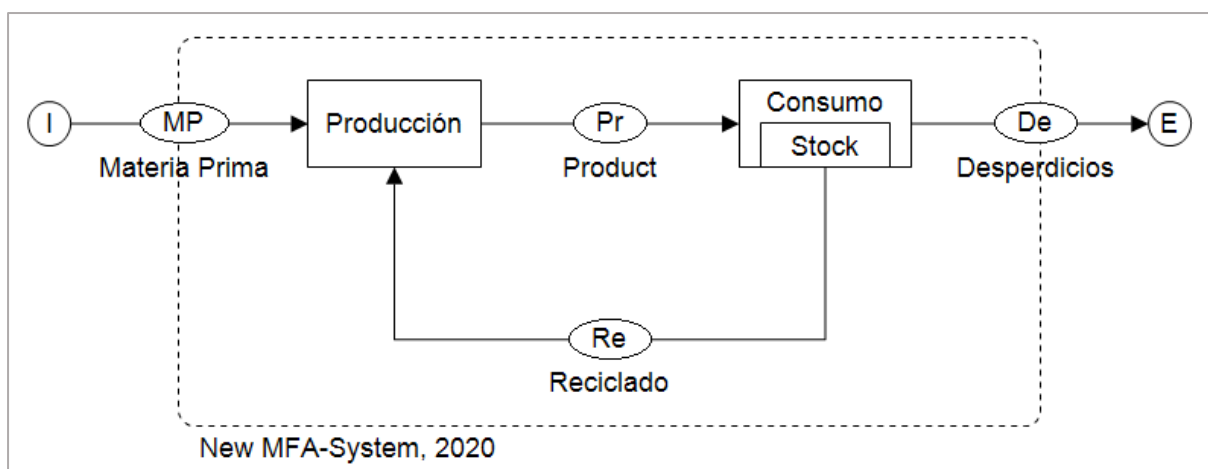


Figura 4. Modelo de análisis de flujos de materiales en un sistema desarrollado en el software STAN.

## 2.6. Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El ACV es un método analítico y cuantitativo que se enfoca en la evaluación de la carga ambiental que caracteriza el sistema, abarcando todas las etapas del ciclo de vida de los productos y servicios (enfoque de la cuna a la tumba) (Maranghi et al., 2020). Mediante la perspectiva de ciclo de vida, se pueden conocer las consecuencias ambientales resultantes de los cambios en la demanda de recursos que ocurren en las ciudades y así, tener en cuenta todos los aspectos afectados por la dinámica y complejidad de estos (Maranghi, et al., 2020). Así también, aporta en la selección de indicadores y técnicas de medición para definir el desempeño ambiental, y en marketing (estrategias de diseño y productos verdes, y etiquetas ecológicas).

El software profesional líder para el desarrollo de modelos de ciclo de vida complejos de forma sistemática y transparente es SimaPro. Esta herramienta permite recopilar, analizar y monitorear datos de desempeño de sostenibilidad de productos y servicios, y se puede emplear para una variedad de aplicaciones relacionadas al ACV (SimaPro, 2020). SimaPro presenta

distintos métodos de evaluación de impactos ambientales, los cuales se emplean de acuerdo con los resultados que se requieran según el enfoque de cada estudio. Estos métodos presentan la siguiente estructura básica: (1) Caracterización; (2) Evaluación de daños; (3) Normalización; (4) Ponderación; y (5) Adición. SimaPro (2019) especifica que los últimos cuatro pasos son opcionales para los métodos según la norma ISO, por lo que no todos los presentan; así también, estos pasos pueden activarse o desactivarse cuando se edita un método. Adicionalmente, pueden elegirse las categorías de impacto a analizar (gráficamente). Si bien se trabaja con un inventario previamente determinado, es necesario recurrir a una base de datos para completar la información requerida para realizar un ACV completo. La principal base de datos a nivel mundial es Ecoinvent, el cual es el inventario de datos de ciclo de vida, desarrollado en Suiza, más completo y transparente (Ecoinvent, 2020). Cabe resaltar que muchos países están desarrollando sus propios inventarios, lo que implica un arduo trabajo y financiamiento por parte de entes externos tales como Ecoinvent en Perú, Colombia y Brasil, por ejemplo. El desarrollo de bases de datos geográficamente específicas es de mucha importancia puesto que el ACV está diseñado para tener en cuenta la especificidad territorial de un sistema para lo que requiere de un inventario de ciclo de vida específico (Rossi et al., 2019; Rossi et al., 2020; Facchini et al., 2017 citados por Maranghi et al., 2020).

### 3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción de la metodología

El metabolismo urbano ha llamado la atención no solo por la importancia de los resultados sino por la complejidad en sí del estudio y, las posibilidades de análisis de las ciudades y su interacción con el medio ambiente (Holmes y Pincetl, 2012 en Céspedes y Morales, 2018). La investigación del balance de masa entre ingresos, salidas y almacenamientos en los procesos busca evitar pasar por alto usos importantes de los recursos y liberación de contaminantes que generan (Lifset y Graedel, 2015). Como menciona Perrotti (2020), es importante conocer el comportamiento en sí de cada flujo de materiales pues, al convertirse en desechos, impactarán a los receptores posteriores tanto dentro como fuera de los límites del sistema. De esta manera, a fin de mejorar el resultado del estudio de metabolismo urbano en la presente investigación, se complementan dos metodologías con enfoques distintos. Por un lado, el AFM, con una visión a nivel macro, cuantifica los flujos que ocurren en la ciudad de estudio; y por el otro, el ACV, con visión de mayor detalle, estima la carga ambiental en base a los inventarios de entradas y salidas estimados para el área urbana específica.

En la Figura 5 se muestra el proceso de desarrollo de la metodología del presente estudio. En primer lugar, se describe el problema/contexto socioeconómico de la ciudad elegida para el estudio; y, posteriormente, se delimita el sistema. Una ciudad o área urbana es un sistema complejo por lo que, para determinar los flujos que forman parte de esta, se deben delimitar las fronteras del sistema a estudiar, en espacio y tiempo. Si no se delimita el sistema de manera adecuada, no es posible contabilizar y analizar todos los flujos importantes que forman parte del funcionamiento de la ciudad. Asimismo, el resultado puede verse afectado si no se analiza un periodo con buena cantidad y calidad de información disponible.

Una vez delimitado el sistema en tiempo y espacio, se inicia la recolección de datos. La recopilación de datos en sí misma, es un trabajo de investigación; principalmente para los estudios de ciudades en países emergentes, en los que no se tiene un sistema de gestión de datos y, por lo que se obtiene información de distintas fuentes y no uniformes (Maranghi et al., 2020). Como explican Kennedy y colegas (2015), esto compromete la falta de homogeneidad del conjunto de datos recolectados y, por tanto, requiere de una fase adicional de filtrado (Maranghi et al., 2020). La recolección de datos para la ciudad de estudio se obtiene tanto de las entidades encargadas del suministro de servicios en la ciudad como de entidades públicas y privadas a

nivel nacional. Sin embargo, obtener la información suficiente para cuantificar las entradas y salidas relevantes es la principal limitación de este estudio, como ya se ha mencionado anteriormente; por lo que, en los casos de no tener acceso o disponibilidad de información, esta se estimará. Para el caso de datos que no se encuentren para el periodo de estudio, se recoge la información del último año reportado por las entidades para la ciudad de Huancavelica. Por otro lado, en el caso de no contar con reportes acerca de la información requerida para la ciudad, es necesario escalar información disponible acerca de los recursos a nivel provincial, regional o nacional para estimar la información en el sistema urbano. Por la simplicidad y representatividad de los resultados del método, se emplean ratios en base a indicadores de producción y consumo para el escalamiento provincial, regional o nacional (García-Guaita et al., 2018).

Culminado el filtrado de información recolectada, se estima el metabolismo urbano de la ciudad de estudio y, se obtienen los inventarios de entradas y salidas del sistema. Se toman estos inventarios como base para estimar la presión ambiental que se genera en el área urbana, para lo cual se emplea el software SimaPro. Para este estudio se eligen siete categorías de impacto a analizar: calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación terrestre, eutrofización del agua dulce, toxicidad humana no cancerígena, escasez de recursos minerales y escasez de recursos fósiles.

El modelado de este proyecto en SimaPro se realiza para un habitante de la ciudad de Huancavelica y se utiliza la base de datos en la versión actualizada 3.6 de Ecoinvent. Es importante resaltar que la finalidad de la presente investigación es estimar la carga ambiental en la ciudad de estudio, por lo que se determinan la huella de carbono y la contribución de los flujos metabólicos en las categorías de impacto elegidas para el análisis. De esta manera, se ingresa la información de cada uno de los flujos que se muestran en los inventarios de entrada y salida estimados para el sistema de estudio, y se emplean las metodologías ReCiPe 2016 Midpoint (H, perspectiva jerárquica) versión 1.04 e IPCC 2013 GWP 100a. ReCiPe 2016 se orienta tanto a las consecuencias ambientales (midpoint) como a los daños finales ocasionados al medio ambiente (endpoint) y se encuentra disponible para tres perspectivas diferentes: individualista (I), jerárquica (H) e igualitaria (E) (SimaPro, 2019). Adicionalmente, SimaPro (2019) especifica que este método pasa a considerarse global puesto que sus factores de caracterización son representativos de dicha escala. Mientras que IPCC 2013 es un método de evaluación desarrollado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus

siglas en inglés), que enumera los factores del cambio climático del IPCC con un plazo de 20 y 100 años (Simapro, 2019).



Figura 5. Proceso de desarrollo de la metodología de la presente investigación: Metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú.

## 4. CAPÍTULO 4: CASO DE ESTUDIO

### 4.1. Descripción del problema/contexto socioeconómico

A nivel de Perú, el departamento de Huancavelica presenta el valor más bajo de IDH que presenta el PNUD en su último informe por regiones: 0.3 en el año 2012. Este valor se relaciona con la pobreza de dicha región. La población tiene esperanza de vida de 71 años al nacer, asistencia escolar primaria y secundaria de 89%, 37% de población con secundaria culminada, ingreso laboral mensual per cápita de 709 nuevos soles, cifra menor al gasto por hogar mensual de 1 121 nuevos soles (INEI, 2018d). Asimismo, representa la tasa más alta de desnutrición crónica de niños menores de 5 años en el país: 23.5% y el 91% de la población tiene un trabajo informal (INEI, 2018a). De la población, el 11% no tiene cobertura de electricidad, el 16% carece de cobertura de agua y el 63% carece de cobertura de desagüe (INEI, 2018a). Así también, el analfabetismo está presente en el 14% del total de habitantes (INEI, 2018a). A nivel provincial, las principales actividades que generan mayores ingresos son la minería, la agricultura, el pecuario y la manufactura (Gobierno Regional de Huancavelica, 2005).

La ciudad de estudio, Huancavelica, es la capital de la región del mismo nombre y presenta IDH igual a 0.51 para el año 2012 (PNUD, 2013). Esta ciudad se ubica en la sierra central de Perú, en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, a orillas del río Ichu a una altitud media de 3 676 msnm. Al 2017, la población total del distrito de Huancavelica alcanza los 39 776 y es el más habitado del departamento (INEI, 2017). De la población total distrital, 36 268 personas habitan en el área urbana y 3 508, en el área rural del distrito (INEI, 2017). La ciudad presenta clima frío y precipitaciones durante todo el año; la época húmeda comprende entre noviembre y abril, y época seca el resto del año. La temperatura media oscila entre los 9 y 11 grados Celsius (°C), la temperatura media máxima es 16°C y la temperatura media mínima es 1.5°C. Debido al relieve del territorio, los cambios de temperatura entre el día y la noche suelen ser muy variados; así también, el territorio se caracteriza por presentar heladas moderadas. La estación meteorológica automática más cercana a la ciudad se encuentra en el distrito de Ascensión, a 3 715 msnm.

La importancia de los estudios de metabolismo de las ciudades a nivel peruano radica en que, al crecer cada vez más rápido las áreas urbanas y al no tener establecido un plan de desarrollo urbano, estas lo hacen de manera desordenada. Esto genera que los desafíos tales como congestión de transporte, contaminación, seguridad, dificultad en la gestión de residuos, excesivo consumo de energía entre otros, sean más complejos de resolver por los responsables

de políticas públicas (Satterthwaite, 1997; Hall et al., 2000; Cohen, 2006; Chourabi et al., 2012; Freire et al., 2016 en D'Amico et al., 2020). Así también, este tipo de estudios son propios de cada ciudad desde la elección de indicadores, que dependen de la etapa de desarrollo de esta, de sus límites administrativos y del objetivo en sí del estudio (D'Amico et al., 2020). En este sentido, el análisis y resultado que se obtenga es propio de cada área geográfica y, por tanto, las estrategias a aplicar serán en base a las necesidades específicas de cada ciudad.

Como ya se ha explicado anteriormente, los valores bajos de IDH que presenta la región Huancavelica en territorio peruano impulsan a la autora a realizar el presente trabajo de investigación, tomando como ciudad de estudio a la capital regional. La finalidad del estudio es entender el funcionamiento de la ciudad en base a la cuantificación de los flujos que caracterizan el metabolismo urbano de esta y estimar las consecuencias ambientales que estos generan. De esta manera, se pretenden identificar los puntos críticos o de preocupación para que los responsables de la toma de decisiones respecto a las políticas de desarrollo de la ciudad orienten las estrategias hacia la sostenibilidad, evaluando los aspectos económicos, pero priorizando también los aspectos ambiental y social.

#### **4.2. Delimitación del sistema**

La ciudad de Huancavelica es la capital del distrito, provincia y departamento homónimo, en Perú, el cual es considerado país emergente o en vías de desarrollo, y la autoridad a cargo es la Municipalidad Provincial de Huancavelica (ver Figura 6). La “mancha” urbana del distrito de Huancavelica, es decir, el área de la superficie total del territorio donde se desarrolla la vida urbana alcanza los 4.2 km<sup>2</sup> (PERIFERIA Y WWF Perú, 2019) (ver Figura 7). Así, a fin de contar con acceso a información de calidad acerca del área urbana, se toma el límite geográfico establecido por el Estado Peruano para la ciudad de Huancavelica como delimitación en espacio. Cabe resaltar que en caso el destino final de los flujos de salida del sistema no sea dentro de los límites de este, se tendrán en cuenta las emisiones que se generen en esa área externa; por ejemplo, si los residuos sólidos generados en la ciudad de estudio se destinan fuera del límite en espacio definido.

Para la delimitación en tiempo de la ciudad, se establece el año 2017 como año de estudio, puesto que es el año más actualizado en cuanto a cantidad y calidad de información disponible. En caso no se encuentre o no se tenga acceso a información necesaria referente al año de estudio, se tomará la última información presentada por las entidades o instituciones responsables del monitoreo.



Figura 6. Ubicación geográfica del distrito de Huancavelica, Perú.

Tomado de la página web de la Municipalidad Provincial de Huancavelica, Perú. Copyright 2020 por Fiorella Guerrero.

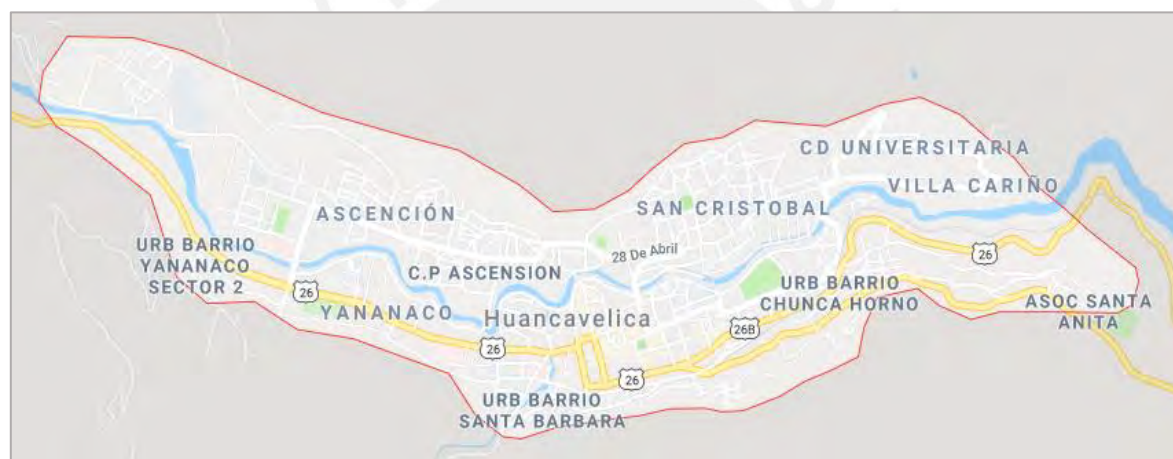


Figura 7. Delimitación geográfica de la ciudad de Huancavelica, Perú.

Tomado de Google Maps.

Tabla 1.

Información general del distrito de Huancavelica, Perú en 2017.

|                               | <b>2017</b> |
|-------------------------------|-------------|
| Superficie (Km <sup>2</sup> ) | 578         |
| Población distrital           | 39 776      |
| Urbana                        | 36 268      |
| Rural                         | 3 508       |
| Viviendas particulares        | 11 699      |



Nota. Área, población, número de viviendas particulares y PBI per cápita del distrito de Huancavelica en el 2017. Adaptado de Censo Nacional 2017, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

### **4.3. Recolección de información**

Para este estudio, con base en las recomendaciones y estudios mencionados en la literatura del presente documento, se han determinado diez flujos a analizar en el sistema delimitado (ver Figura 8). Estos flujos representan los principales consumos y emisiones que se generan en la ciudad de Huancavelica y, a partir de los cuales, se estiman el comportamiento y presión ambiental en esta. Los flujos de entrada al sistema son: agua, alimentos, combustibles fósiles y biomasa, materiales de construcción y electricidad; mientras que en los flujos de salida se consideran: aguas residuales, residuos sólidos y emisiones al aire. Adicionalmente, se analizan los espacios verdes, los materiales predominantes en las viviendas y el transporte en la ciudad, dentro de este último se revisa el parque automotor; esto, con la finalidad de mejorar la interpretación de resultados respecto al funcionamiento de la ciudad.

La unidad funcional, según la ISO 14040 (2006), es el desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia. En esta investigación, se definen dos unidades funcionales. Primero, los flujos metabólicos se muestran en cantidades per cápita anual, a fin de estimar y generar datos comparables por habitante; y, segundo, se muestran los flujos en cantidades totales anuales, es decir, para todos los habitantes, a fin de analizar el impacto ambiental que se genera como consecuencia en el sistema de estudio. Las estimaciones se realizan en base a la información recopilada y la población total que habita en la ciudad en el periodo de estudio.

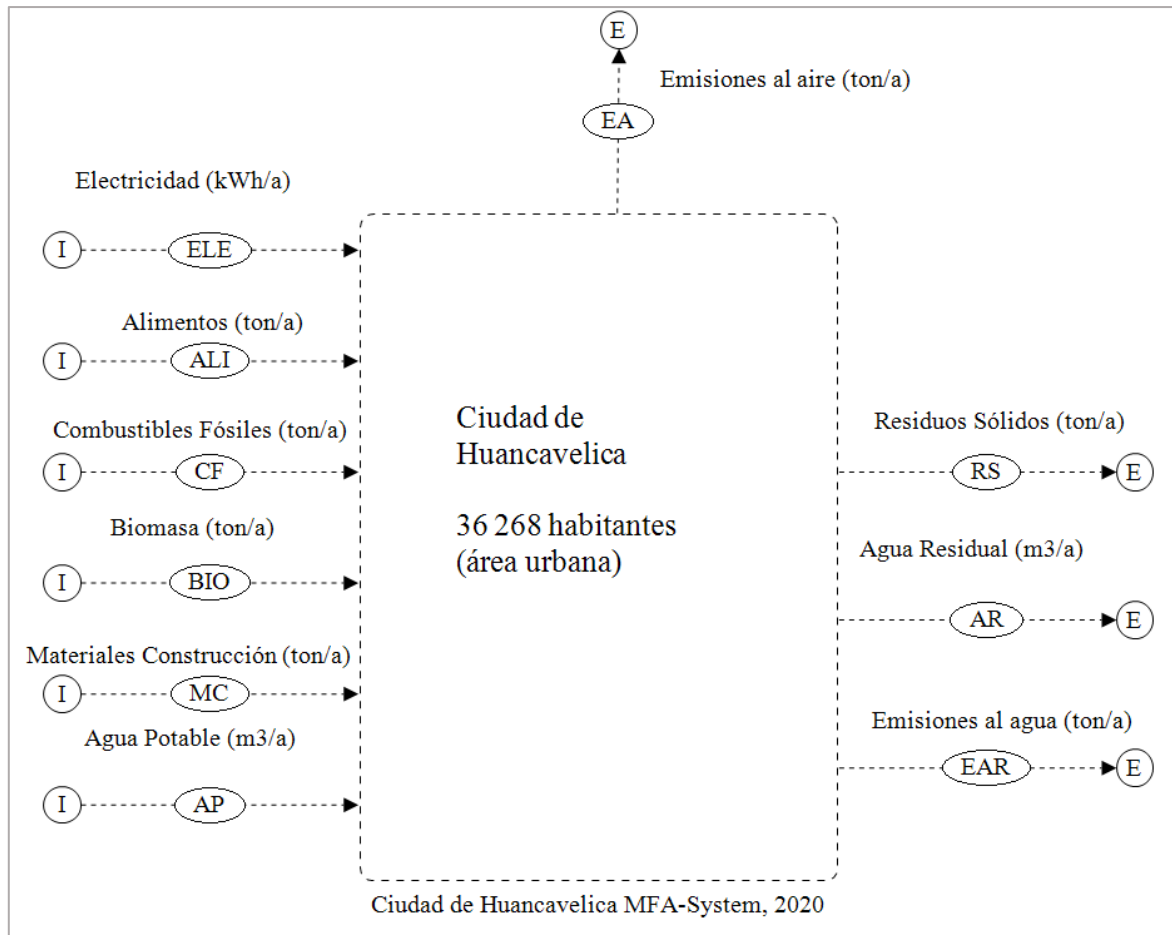


Figura 8. Flujos para considerar en el estudio de metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú.

En las Tablas 2 y 3 se muestran las fuentes de datos y las escalas a partir de las cuales se estimaron los consumos y emisiones per cápita anual en la ciudad de estudio para el año 2017. Como se ha mencionado anteriormente, y como se evidencia en las tablas que se muestran a continuación, las fuentes de datos son variables y no se cuenta con información completa actualizada al año de estudio. Así también, se observa que las escalas de datos originales, en general, no corresponden netamente a la ciudad de estudio; sino mas bien, la información que se busca se estima a partir de información distrital, provincial y nacional. Esto último genera que no se obtengan consumos y emisiones propios de la ciudad y que correspondan a las principales actividades que se desarrollan en esta, por lo que algunos datos podrían sobreestimarse al considerar consumos de áreas en las que se desarrollan actividades económicas que no corresponden al área urbana.

Tabla 2.

*Escala y fuente de datos de los flujos metabólicos de ingreso al sistema de estudio.*

|                     | Unidad         | Escala de datos original | Fuente de datos   |
|---------------------|----------------|--------------------------|---|
| <b>Agua</b>         |                |                          |   |
| Agua potable        | m <sup>3</sup> | Distrital                | Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2018 |
| <b>Alimentos</b>    |                |                          |   |
| Cereales            | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Harinas             | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Panadería           | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Pastas              | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Carnes              | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Pescados y mariscos | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Leche               | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Yogurt              | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Queso fresco        | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Huevos              | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Aceites y grasas    | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Frutas              | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Hortalizas          | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |
| Menestras           | kg             | Departamental            | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012          |

|                                       |      |               |   |
|---------------------------------------|------|---------------|---|
| Tubérculos y derivados                | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| Azúcar                                | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| Helado                                | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| Especies y sazónadores                | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| Agua mineral                          | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| Gaseosas                              | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| Refrescos                             | kg   | Departamental | Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares, 2012              |
| <b>Combustibles fósiles y biomasa</b> |      |               |   |
| Diésel                                | L    | Departamental | Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2018 |
| Gasohol                               | L    | Departamental | Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2018 |
| Gas Licuado de Petróleo               | L    | Departamental | Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2018 |
| Leña                                  | kg   | Departamental | Ministerio de Energía y Minas, 2018b                            |
| Bosta y yareta                        | kg   | Departamental | Ministerio de Energía y Minas, 2018b                            |
| <b>Materiales de construcción</b>     |      |               |   |
| Cemento                               | kg   | Departamental | Asociación de Productores de Cemento, 2017                      |
| Acero                                 | kg   | Nacional      | Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017           |
| <b>Electricidad</b>                   |      |               |   |
| Energía eléctrica                     | kW.h | Departamental | Ministerio de Energía y Minas, 2018a                            |

---

Nota: Flujos metabólicos que ingresan al sistema de estudio delimitado para la presente investigación con las respectivas fuentes de datos y escalas a partir de las cuales se estimaron los consumos per cápita anual para la ciudad de Huancavelica.

Tabla 3.

*Escala y fuente de datos de los flujos metabólicos de ingreso al sistema de estudio.*

|                            | Unidad         | Escala de datos original | Fuente de datos   |
|----------------------------|----------------|--------------------------|---|
| <b>Aguas residuales</b>    |                |                          |   |
| Aguas residuales           | m <sup>3</sup> | Distrital                | Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2018 |
| <b>Emisiones al agua</b>   |                |                          |   |
| Nitrógeno, total           | kg             | Local                    | Metcalf y Eddy, 2014 citado en Torre, 2018                  |
| Fósforo, total             | kg             | Local                    | Metcalf y Eddy, 2014 citado en Torre, 2018                  |
| Demanda Química de Oxígeno | kg             | Local                    | Metcalf y Eddy, 2014 citado en Torre, 2018                  |
| Sólidos en suspensión      | kg             | Local                    | Metcalf y Eddy, 2014 citado en Torre, 2018                  |
| <b>Residuos Sólidos</b>    |                |                          |   |
| Domiciliarios              | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Materia orgánica           | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Bolsas                     | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Residuos inertes           | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Cartón                     | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Plástico                   | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Latas                      | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Envolturas                 | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Vidrio                     | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Textiles                   | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Madera y follaje           | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Metales                    | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Tetrapack                  | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Electrónicos y pilas       | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |
| Otros                      | kg             | Local                    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016              |

|                                       |    |          |  |
|---------------------------------------|----|----------|--|
| No domiciliarios                      | kg | Local    | Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016                                       |
| <b>Emisiones al aire</b>              |    |          |  |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) | kg | Nacional | Ministerio de Energía y Minas, 2018b   |
| Monóxido de carbono (CO)              | kg | Nacional | Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019; Ministerio del Ambiente, 2015 |
| Metano (CH <sub>4</sub> )             | kg | Nacional | Ministerio de Energía y Minas, 2018b; Ministerio del Ambiente, 2015                  |
| Material particulado (PM)             | kg | Nacional | Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019                                |
| Óxido de azufre (SO)                  | kg | Nacional | Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019                                |
| Hidrocarburos (HC)                    | kg | Nacional | Ministerio del Ambiente, 2015  |
| Óxido de nitrógeno (NO)               | kg | Nacional | Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019; Ministerio del Ambiente, 2015 |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)      | kg | Nacional | Ministerio de Energía y Minas, 2018b   |

Nota: Flujos metabólicos que salen del sistema de estudio delimitado para la presente investigación con las respectivas fuentes de datos y escalas a partir de las cuales se estimaron las emisiones per cápita anual para la ciudad de Huancavelica.

En el capítulo siguiente se muestra el análisis de flujos y comparación de resultados del área de estudio con otras ciudades. En cada uno de los flujos se hace referencia a los ODS que se relacionan con estos a fin de analizar el estado y la toma de acciones necesarias para lograr los objetivos al 2030. Se han elegido 3 ciudades para esta comparación: Moquegua, como ciudad emergente y de clima similar al de estudio; Lima Metropolitana, como ciudad capital de Perú; y Santiago de Compostela, como ciudad extranjera de un país desarrollado (España). Esta comparación se realiza a fin de identificar los consumos y emisiones per cápita anual entre la capital de una de las regiones más pobres de Perú y otras dos ciudades peruanas de mayor nivel de calidad de vida. Así también, se pretende comparar el consumo en estas ciudades, de un país emergente o en vías de desarrollo como Perú, frente al resultado del estudio del metabolismo de la ciudad española Santiago de Compostela. Para este último, se toma como referencia el estudio de García-Guaita y compañía del 2018: “Integrating Urban Metabolism, Material Flow Analysis and Life Cycle Assessment in the environmental evaluation of Santiago de Compostela” [“Integrando Metabolismo Urbano, Análisis de Flujo de Materiales y Análisis de Ciclo de Vida en la evaluación ambiental de Santiago de Compostela”].

## 5. CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis de flujos y comparación con otras ciudades

#### 5.1.1. Entradas y existencias en el ecosistema urbano Huancavelica

A continuación, se describen los flujos y las estimaciones de consumo anual per cápita de agua, alimentos, combustibles fósiles y biomasa, materiales de construcción, y electricidad en la ciudad de Huancavelica. Así también, se hace referencia a los espacios verdes, materiales predominantes en las viviendas y respecto al transporte fin de tener un mayor alcance de las existencias en el área urbana.

##### 5.1.1.1. Agua

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Huancavelica, EMAPA HVCA S.A., es la empresa pública de derecho privado encargada del saneamiento de agua potable en los distritos de Huancavelica e Izcuchaca, en la provincia de Huancavelica (ver Figura 9). La Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), ha publicado el estudio tarifario de EMAPA HVCA como parte de su función de ente regulador y fiscalizador de las empresas de prestación de servicios a nivel nacional. En este reporte se describe la información de la empresa prestadora de servicios para el quinquenio 2013-2017, así como la situación del servicio de agua potable en el ámbito que le corresponde a la empresa. Para el abastecimiento de la población en la clase residencial (doméstica y social), se aprovechan los recursos hídricos del río Ichu, como fuente principal, y del riachuelo Callqui, como fuente secundaria; asimismo, al 2017, el 94% de la población cuenta con acceso a conexiones de agua potable (GRT, 2018). Se cuenta con dos Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP): PTAP Millpo y PTAP Ichu, a las cuales se conduce el agua captada de las dos fuentes mencionadas para, una vez tratada, conducirla a dos reservorios de 2 700 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento (GRT, 2018). Así, posteriormente, el agua almacenada en los reservorios es distribuida a la población de la ciudad de Huancavelica. En la Figura 10 se muestra el esquema general de la distribución de agua potable de parte de la EMAPA HVCA S.A. en la ciudad de Huancavelica.



Figura 9. Ámbito en el que EMAPA Huancavelica S.A. tiene derecho a distribuir el agua potable.

Tomado de Estudio Tarifario EMAPA HVCA S.A., por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018, p. 17. Copyright 2020 por Fiorella Guerrero.



Figura 10. Esquema general del sistema de agua potable suministrado por la empresa prestadora de servicios en la ciudad de Huancavelica.

Tomado de Estudio Tarifario EMAPA HVCA S.A., por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018, p. 42. Copyright 2020 por Fiorella Guerrero.



La captación de Callqui tiene una antigüedad de 30 años; sin embargo, gracias al mejoramiento de su infraestructura, actualmente puede almacenar hasta 500 m<sup>3</sup> de agua y su caudal de abastecimiento es de 60 L/s (GRT, 2018). Menciona también la GRT (2018), la posible reanudación de actividad minera en un yacimiento aguas arriba de la captación, lo que significa posible contaminación del río Callqui y, por tanto, se prevé la elaboración de estudios para una nueva fuente por parte de EMAPA HVCA. La PTAP Millpo, a la que se conduce el agua de la captación Callqui, es del tipo hidráulica convencional de filtración rápida. Esta tiene 9 años de antigüedad, caudal máximo de producción de 105 L/s y abastece al reservorio CConchopata, el cual tiene una capacidad de 1 700 m<sup>3</sup>, y abastece al 70% de la población (GRT, 2018). La captación Punco Punco, ubicada en la margen derecha del río Ichu, tiene una antigüedad de 9 años, su caudal de abastecimiento es 100 L/s y este puede llegar hasta 150 L/s en caso la captación Callqui se encuentre inoperativa (GRT, 2018). El agua captada se conduce a la PTAP Ichu, la cual, con 9 años de antigüedad, tiene caudal máximo de producción de 55 L/s y abastece al reservorio Ichu, el cual tiene una capacidad de 1 000 m<sup>3</sup> y abastece al 30% de la población (GRT, 2018). La GRT (2018) especifica que, actualmente, EMAPA HVCA no realiza el registro confiable del agua que ingresa a las plantas de tratamiento Millpo e Ichu, por lo que financiará con recursos propios la adquisición e instalación de un medidor ultrasónico en cada planta.

Tabla 4.

Caudal de contribución de las captaciones de agua en la ciudad de Huancavelica.

| Fuente                          | Captación   | PTAP   | Reservorio  | Capacidad reservorio | Abastece a población |
|---------------------------------|-------------|--------|-------------|----------------------|----------------------|
| Superficial – Río Ichu          | Punco Punco | Ichu   | Cconchopata | 1 700 m <sup>3</sup> | 70%                  |
| Superficial – Riachuelo Callqui | Callqui     | Millpu | Ichu        | 1 000 m <sup>3</sup> | 30%                  |

Nota. Porcentaje de población, del total que cuenta con conexión de agua potable, que abastecen las captaciones de agua Punco Punco y Callqui en la ciudad de Huancavelica. Adaptado de Estudio Tarifario EMAPA HVCA S.A., por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018.

Dentro del ámbito de la empresa, se han formado pequeñas Juntas Administrativas de los Servicios de Saneamiento (JASS) que abastecen a parte de la zona urbana del ámbito al que tiene derecho EMAPA HVCA S.A. a través de diecinueve sistemas paralelos (ver Figura 11). Estos sistemas paralelos de abastecimiento de agua potable son independientes y cada uno cuenta con su propio reservorio, línea de conducción y redes secundarias; sin embargo, los

usuarios de las JASS descargan sus aguas residuales a la red colectora de EMAPA HVCA. La empresa prestadora de servicios ha priorizado nueve de los sistemas paralelos para una posible integración a fin de mejorar la calidad y eficiencia de la prestación de servicios para los pobladores. En el informe de estudio tarifario presentado por EMAPA HVCA (2018), se especifica que al 2017, las JASS brindan el servicio de agua potable a 7 612 habitantes. Así, con la información de la población total de la ciudad de Huancavelica según el INEI (2018a), se estima que el porcentaje del total de población al que las JASS suministran agua potable es de 21%.

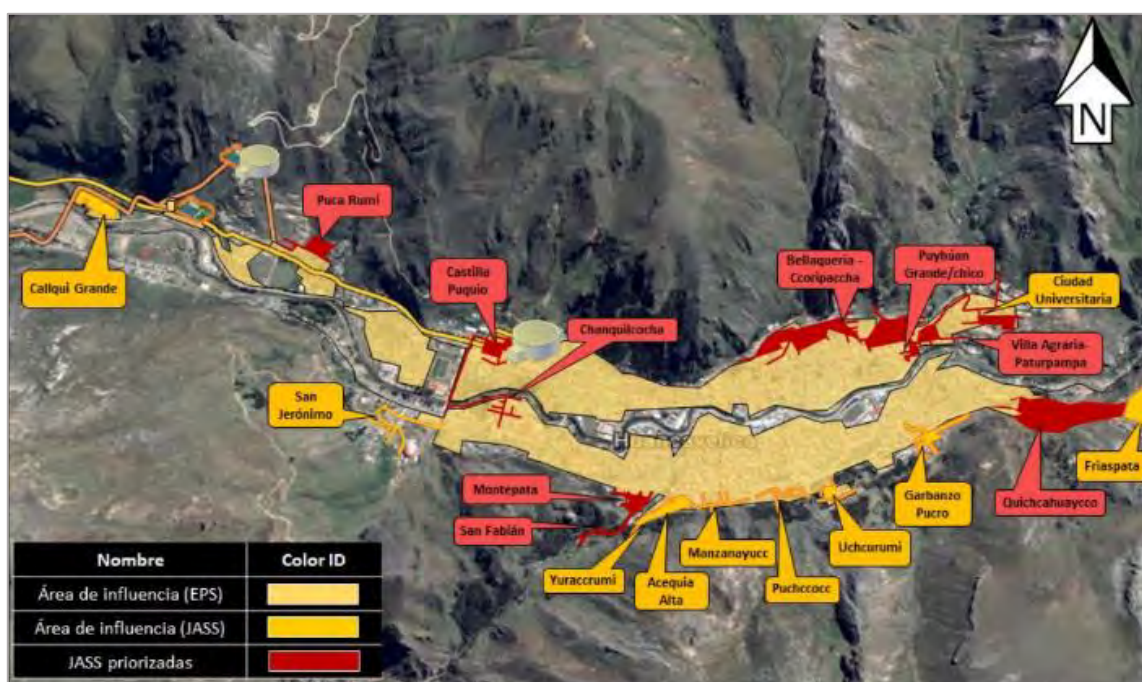


Figura 11. Distribución de los 19 sistemas paralelos de las Juntas Administrativas de los Servicios de Saneamiento (JASS) en la ciudad de Huancavelica.

Tomado de Estudio Tarifario EMAPA HVCA S.A., por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018, p. 57. Copyright 2020 por Fiorella Guerrero.

Tabla 5.

Número de habitantes que atienden las Juntas Administrativas de los Servicios de Saneamiento (JASS) en la ciudad de Huancavelica, en el 2017.

| Nombre                        | Habitantes | Viviendas |
|-------------------------------|------------|-----------|
| JASS Coripaccha - Bellaquería | 2 138      | 500       |
| JASS Puyhuán Grande/Chico     | 855        | 200       |
| JASS Ciudad Universitaria     | 26         | 6         |

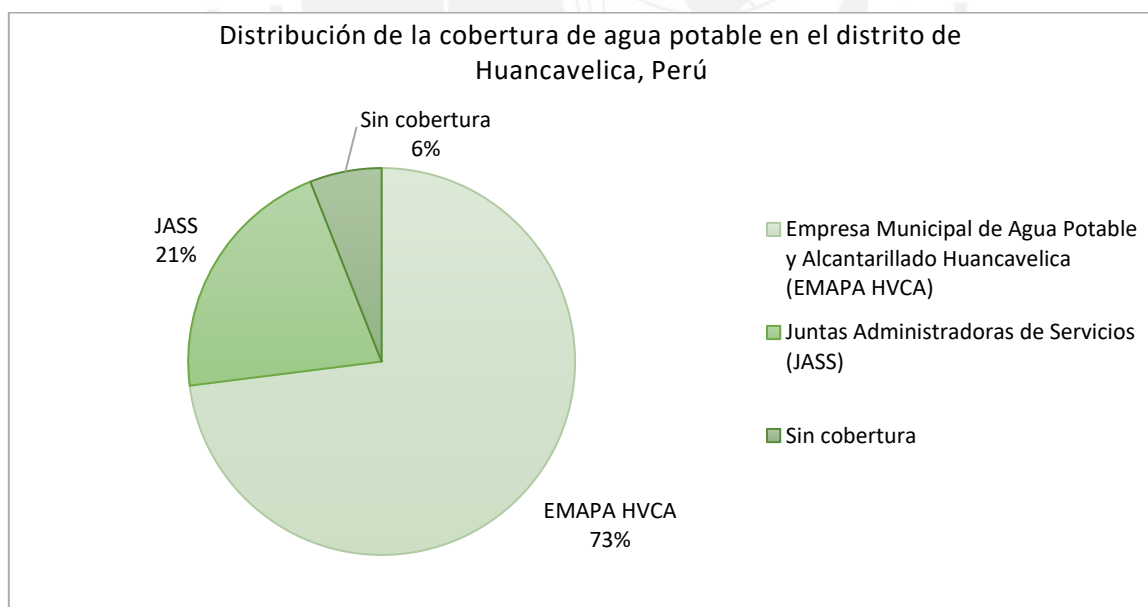
|                                       |              |              |
|---------------------------------------|--------------|--------------|
| JASS Villa Agraria - Paturpampa       | 351          | 82           |
| JASS Quichcahuaycco - Santa Inés Pata | 663          | 155          |
| JASS Garbanzo Pucro                   | 419          | 98           |
| JASS Friaspata                        | 107          | 25           |
| JASS Manzanayocc                      | 43           | 10           |
| JASS Acequia Alta                     | 513          | 120          |
| JASS Uchcurumi                        | 342          | 80           |
| JASS Yuraccrumi                       | 150          | 35           |
| JASS Puchococc                        | 192          | 45           |
| JASS Belén Pata - San Jerónimo        | 342          | 80           |
| JASS San Fabián                       | 128          | 30           |
| JASS Chanquilcocha                    | 107          | 25           |
| JASS Montepata                        | 299          | 70           |
| JASS Pucarumi                         | 244          | 57           |
| JASS Castilla Puquio                  | 458          | 107          |
| JASS Callqui Grande                   | 235          | 55           |
| <b>Total</b>                          | <b>7 612</b> | <b>1 780</b> |

Nota. Habitantes que atienden los 19 sistemas paralelos de agua potable de las Juntas Administrativas de los Servicios de Saneamiento (JASS) en la ciudad de Huancavelica, en el año 2017. Adaptado de Estudio Tarifario EMAPA HVCA S.A., por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS 2018, p. 58.

La continuidad promedio del servicio de agua potable es de 22 horas al día y la presión mínima promedio es 10 mca; asimismo, el total de ingresos por prestación del servicio es de 1.98 millones de nuevos soles (GRT, 2018). De las 11 699 viviendas particulares que cuentan con abastecimiento de agua potable por red pública, solo el 92.5% (10 819) paga por el servicio (INEI, 2018a). EMAPA HVCA reporta que el volumen producido de agua potable para el año 2017 fue 3.98 millones de m<sup>3</sup>, mientras que el volumen facturado fue 2.25 millones de m<sup>3</sup> (GRT, 2018). Como se puede observar, el volumen facturado de agua potable equivale al 56% del volumen producido; esto se debe a que en el volumen producido se consideran las pérdidas en el sistema de conducción y a que hay pobladores que no pagan por el servicio.

El total de conexiones de agua potable en Huancavelica a nivel distrital, lo que incluye áreas urbana y rural, es de 10 366; de las cuales, 9 569 conexiones se encuentran activas y solo 7 985 conexiones activas cuentan con medidor (GRT, 2018). La población que no cuenta con conexión de agua potable es del 6% y tiene acceso al recurso por diferentes medios tales como camión cisterna, pozos, manantiales o puquios, ríos, acequias, lagos, lagunas, entre otros (INEI, 2018a). En la Figura 12 se muestra la distribución porcentual de la cobertura de agua potable a nivel distrital para Huancavelica.

Se estima el consumo anual de agua potable por habitante en la ciudad de Huancavelica a partir del volumen total facturado por la empresa prestadora de servicios en el año 2017 y el total de población que cuenta con acceso al recurso hídrico. La GRT (2018) especifica que, en 2017, el total de población servida de agua potable fue de 42 722 habitantes, por lo tanto, se estima que el consumo promedio de agua potable en la ciudad de estudio es de 144 litros por día. Esta estimación se realiza a nivel distrital puesto que no se cuenta con información acerca del volumen producido y/o facturado por áreas urbana y rural dentro de la ciudad; sin embargo, cabe resaltar que la GRT (2018) resalta en su informe que la cobertura de agua potable es para el área residencial (doméstico y social).



*Figura 12.* Cobertura de agua potable en la ciudad de Huancavelica según porcentaje de población a la que atienden EMAPA Huancavelica S.A. y Juntas Administradoras, y población sin cobertura del servicio.

Tabla 6.

*Estimación del consumo de agua potable anual per cápita en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.*

|  | Unidad                          | Total  |
|--|---------------------------------|--------|
| Conexiones totales                       |                                 | 10 366 |
| Conexiones activas                       |                                 | 9 569  |
| Habitantes servidos por la EPS           |                                 | 42 722 |
| Volumen facturado por la EPS             | millones de m <sup>3</sup> /año | 2.25   |
| Monto facturado por la EPS               | millones nuevos soles           | 1.98   |
| <b>Consumo per cápita anual estimado</b> | m <sup>3</sup> /año             | 53     |
| Consumo per cápita diario estimado       | L/día                           | 144    |

Nota. Estimación de la demanda de agua potable diaria por persona que es suministrada por la empresa prestadora de servicios EMAPA Huancavelica S.A., en la ciudad de Huancavelica. Adaptado de Estudio Tarifario EMAPA HVCA S.A., por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018.

Se realiza una comparación entre el consumo diario del recurso hídrico por cada habitante en la ciudad de Huancavelica (144 litros) y el consumo por habitantes de otras ciudades (ver Figura 13). Al 2017, la SUNASS reporta el consumo promedio de agua por distritos en la ciudad de Lima, en el que se muestra que una persona que vive en el distrito de San Isidro consume 448 litros de agua diariamente, siendo este el mayor consumo en la ciudad. Lima es la metrópoli nacional, con el mayor Índice de Desarrollo Humano (IDH) (0.64), y San Isidro es considerado el centro financiero de Lima, con el mayor IDH respecto al resto de distritos. En la ciudad de Moquegua, ciudad intermedia principal ubicada en el departamento del mismo nombre, y con IDH igual al de la ciudad metrópoli (0.64), el consumo promedio de agua por habitante diariamente es de 250 litros. Esta ciudad es una de las que presenta mejor calidad de vida a nivel nacional, de ahí el alto valor de IDH que presenta, el cual es producto también de la gran actividad minera que se desarrolla en esta; es la tercera ciudad, a nivel nacional, con mayor consumo de agua. Finalmente, se compara el consumo de agua potable en Huancavelica con el de la ciudad española Santiago de Compostela, determinado mediante el estudio de metabolismo urbano de dicha ciudad, el cual equivale a 123 litros diarios por habitante (García-Guaita et al., 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que, en promedio, una persona debe consumir 100 litros diarios de agua potable para satisfacer sus necesidades de consumo e

higiene. Esto también, con la finalidad de cumplir con los ODS que comprometen a los países a nivel internacional a consumir responsablemente este recurso cada vez más escaso. El objetivo de desarrollo sostenible seis, de agua y saneamiento, y el objetivo 11 de ciudades y comunidades sostenibles refieren que, al 2030, toda la población mundial debe tener acceso a agua potable de calidad, continua y a un precio accesible. Así mismo, la meta es lograr el uso eficiente del recurso hídrico en todos los sectores, asegurar la sostenibilidad de extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente al problema de escasez de agua (Naciones Unidas, 2020).

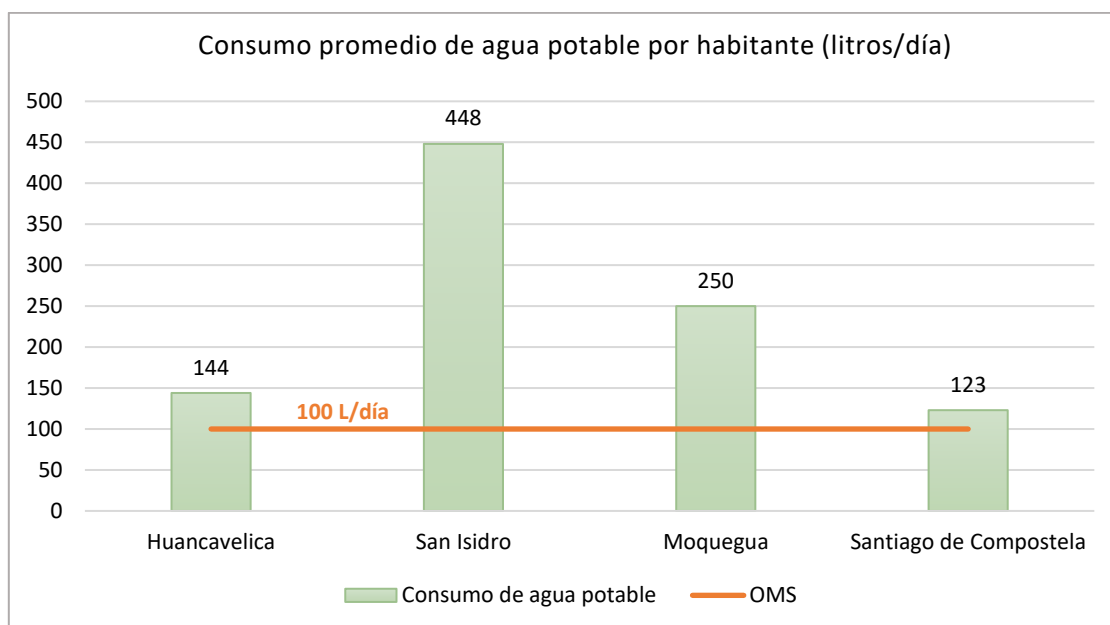


Figura 13. Consumo promedio diario de agua por habitante en las ciudades de Huancavelica, San Isidro, Moquegua y Santiago de Compostela.

### 5.1.1.2. Alimentos

El consumo de alimentos es directamente proporcional al ingreso monetario de cada habitante y es un indicador importante de bienestar. Así, con la información sobre el consumo alimentario, se puede determinar el presupuesto por hogar, es decir, el valor económico que gasta cada familia en su alimentación en relación con los ingresos que obtiene. El consumo anual por habitante de los principales alimentos en la ciudad de Huancavelica se estima en base al último reporte de la Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares (ENAPREF), el cual se ha presentado para el periodo mayo de 2008 a abril de 2009. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) es el organismo técnico especializado encargado de publicar dicho reporte. Entre los principales sectores de producción en la región Huancavelica, destacan la agricultura, con cultivos de papa, cebada, alfalfa, maíz, trigo y haba, y el pecuario que se basa

en la producción de ganado vacuno, caprino, ovino, porcino y camélidos (Gobierno Regional Huancavelica, 2005). Se resaltan estas actividades económicas debido a su relación con el flujo de alimentos que ingresa a la ciudad de Huancavelica, puesto que estos se destinan a los mercados locales y, principalmente, a los mercados de las ciudades de Huancayo y Lima.

Se analiza la información proporcionada por el INEI (2012) y se resaltan los siguientes consumos per cápita anual en la ciudad de Huancavelica. El cereal más consumido es el arroz, con 35 kilogramos (kg); mientras que la harina de trigo y el pan alcanzan un consumo de 3 kg y 25 kg respectivamente. El consumo de fideos secos es de 16 kg. Según la encuesta, las carnes de pollo, varias (alpaca, cabrito, conejo, cuy y otros) y de carnero son las más consumidas en la ciudad de estudio con 12, 11 y 4 kg, en el orden de mención; por otro lado, el consumo de pescado de mar es de 4 kg. Se consumen 20 kg de productos lácteos, donde la leche evaporada, el queso fresco y el yogurt tienen los mayores porcentajes de consumo: 10, 4 y 3 kg respectivamente. Se consumen 7 kg de huevos de ave y 5 kg de aceite vegetal. El plátano es la fruta más consumida con 15 kg respecto del total de frutas consumidas (65 kg), seguido por la manzana con 12 kg y la naranja con 12 kg. El consumo de hortalizas es de 57 kg, donde destaca el consumo de zanahoria, zapallo, cebolla y tomates, con 16, 10, 10, 10 y 7 kg cada uno, en ese orden. La alverja es la menestra más consumida con 5 kg respecto del total (10 kg); mientras que, de los 95 kg de tubérculos y derivados consumidos, 88 kg equivalen al consumo de papa. Se consumen 21 kg de azúcar refinada y resalta el consumo de gaseosas con 23 litros per cápita anual.

Se estima que el costo aproximado de la canasta básica anual de un habitante de la ciudad de Huancavelica es de 1 964 nuevos soles y se obtiene en base a los precios unitarios de alimentos en la ciudad de estudio. Es decir, un poblador de la ciudad de Huancavelica gasta, en promedio, 163.7 nuevos soles mensuales en alimentación dentro del hogar. Mientras que, el INEI (2018f) estima que el gasto per cápita en consumo de alimentos fuera del hogar en Huancavelica, es de 62.4 nuevos soles. De esta manera se estima que el gasto total en alimentación per cápita mensual en la ciudad de Huancavelica es de 226 nuevos soles. Así, se calcula que el gasto en alimentos por hogar en el área urbana es 746 nuevos soles y se obtiene a partir del promedio de habitantes por hogar (INEI) en el área urbana, el cual es 3.3 para el año 2017. El INEI determina la línea de pobreza, valor monetario para establecer si un hogar se encuentra en pobreza o no a partir del gasto per cápita mensual (componentes alimentario y no alimentario) (INEI, 2018d). Este valor es de 165 nuevos soles para la canasta básica alimentaria per cápita mensual en la sierra urbana y 183 nuevos soles, a nivel nacional. El costo

estimado del gasto en alimentos de un habitante de la ciudad de Huancavelica es aproximadamente el valor de la línea de pobreza de la sierra urbana y representa el 32% del ingreso laboral promedio per cápita en la ciudad de Huancavelica. Cabe resaltar que el ingreso promedio por habitante que se considera para la población de la ciudad de estudio es el monto mensual promedio que recibe un poblador a nivel de la región Huancavelica para el año 2017, el cual es de 709.1 nuevos soles.

A nivel nacional, según el INEI (2018d), el gasto promedio mensual en alimentación per cápita para el año 2017 es de 292 nuevos soles; mientras que el ingreso promedio por persona asciende a 962 nuevos soles. Es decir, en promedio, un peruano destina el 30.5% de su ingreso laboral a la compra de alimentos necesarios para satisfacer sus necesidades. INEI (2018d) reporta, además, que el ingreso promedio per cápita en Lima Metropolitana es de 1 285 nuevos soles y en las ciudades de la sierra urbana, como Moquegua, el ingreso es 1 003 nuevos soles. De esta manera, se observa que, en Lima Metropolitana, el gasto de una persona en alimentos equivale al 24% de su ingreso (INEI, 2018e); mientras que, en Moquegua, se distribuye el 29% del ingreso a compra de alimentos. Por otro lado, se estima, con base en referencias, que, en una ciudad española, contrastando una ciudad de país en vías de desarrollo versus la ciudad de un país desarrollado, el costo promedio mensual de una persona en alimentación es el 15% de su ingreso laboral en el año 2017. En la Figura 14 se muestra un gráfico comparativo del gasto porcentual destinado a la canasta básica per cápita respecto del ingreso mensual.

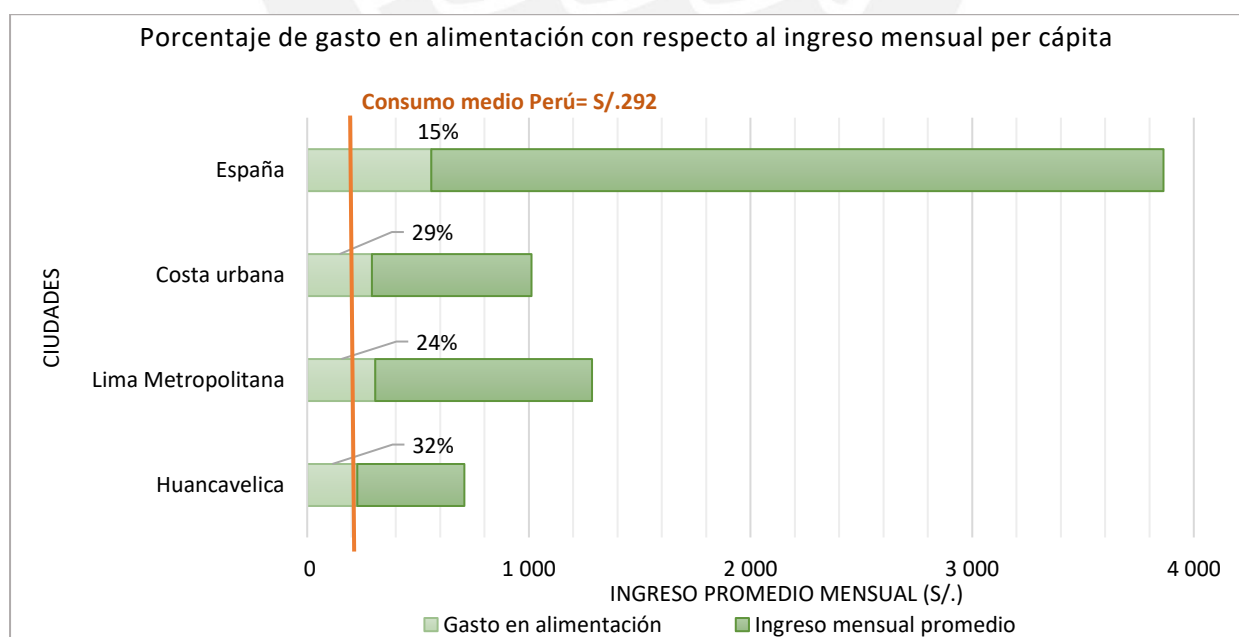


Figura 14. Porcentaje aproximado de gasto en alimentación con respecto al ingreso mensual promedio por habitante en las ciudades de Huancavelica, Lima, Moquegua y Madrid para el año 2010.



Se observa que el gasto promedio en alimentación de una persona en la ciudad de Huancavelica es menor al gasto medio a nivel nacional. De igual manera, el ingreso mensual promedio per cápita es el más bajo con respecto a las otras ciudades, valor inclusive menor al monto de salario mínimo establecido en el Perú. Esto representa una, si no es la única, de las causas de la alta tasa de desnutrición que presenta la ciudad de Huancavelica. Así, las metas ocho y 10 de los ODS, se enfocan en incrementar el ingreso monetario per cápita y mejorar progresivamente la producción y consumo de recursos naturales sin desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente (ONU, 2015). Sin embargo, no se trata solo de tener un gasto mayor en alimentación, sino de asegurar que todas las personas tengan una alimentación sana, nutritiva y suficiente, como se especifica en la meta dos de los ODS. Asimismo, en dicha meta se especifica que es importante invertir en agricultores a pequeña escala, tanto hombres como mujeres, a fin de aumentar la seguridad alimentaria y la nutrición para los más pobres; así como la producción de alimentos para los mercados locales y globales. Se debe promover la participación de mujeres en la actividad agrícola como parte, además, de la meta de igualdad de género; así como asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que incrementen la productividad (ONU, 2015). Es decir, se debe contribuir al mantenimiento de los ecosistemas, fortalecer la capacidad de adaptación al cambio climático y otros fenómenos, y mejorar progresivamente la calidad del agua y suelo (ONU, 2015).

En el Anexo A se detallan los principales productos alimenticios que consume un habitante de la ciudad de Huancavelica para el rango de años 2008-2009 según la última Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares. Así también, se muestran los precios promedios de los alimentos y, a partir de estos, se estima el gasto medio aproximado de alimentos de un poblador de la ciudad en estudio.

Es importante mencionar en este punto que, durante toda la cadena de suministro de los alimentos, es decir, desde la producción hasta la venta para el consumo humano se generan productos no aptos para el consumo. Esto es, se generan desechos durante el ciclo de vida de los alimentos, por lo que habría que considerar un porcentaje adicional al consumo real de la población que también impacta en el medio ambiente. Si bien esta cantidad no se ha podido estimar en el presente estudio, algunos productos consideran este desperdicio en la base de datos Ecoinvent utilizada en el software SimaPro, por lo que el impacto estimado no se aleja de la realidad.

### 5.1.1.3. *Combustibles fósiles y biomasa*

Los combustibles fósiles son uniones de carbono e hidrógeno, formados a partir de la desintegración de materia orgánica durante siglos. Estos recursos no renovables, que liberan energía a través del calor, pueden ser de tres tipos de acuerdo con sus características: carbón, petróleo y gas natural. La combustión del carbón, petróleo y derivados produce grandes emisiones de dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, al medio ambiente, lo que contribuye con el calentamiento global. Cabe resaltar que el gas natural es considerado un combustible limpio y seguro puesto que genera menos emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que el carbón y petróleo, esto debido a su composición de hidrocarburos ligeros (80% aproximadamente de metano ( $\text{CH}_4$ )). Los hidrocarburos (petróleo y gas natural) son, actualmente, la principal fuente generadora de energía y calor producto de su combustión.

En el reporte del censo nacional 2017, el INEI indica que en la región Huancavelica el 35% de hogares emplea combustible limpio (balón de gas licuado de petróleo (GLP)) para cocinar sus alimentos, tal como se observa en la Tabla 7. Por otro lado, el resto de los hogares (65%) hace uso de combustibles contaminantes, dentro de los cuales la leña es empleada por la mitad de estos, aproximadamente. Sin embargo, esta información solo agrupa a los hogares por tipo de combustible que se emplea para la cocción de alimentos. La información cuantitativa que se requiere para el análisis de estos flujos se obtiene de informes y documentos que presenta el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin). Cabe resaltar que la demanda de combustibles que presenta el Osinermin (gasolina, gasohol, diésel, GLP) es a nivel departamental. Para conocer el consumo de biomasa en el departamento de Huancavelica, se toma la demanda de leña, bosta y yareta estimada por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) para la región en el año 2017. En la Tabla 8 se muestra la demanda total de combustibles fósiles para la región Huancavelica en el año 2017 y el consumo anual per cápita estimado. Adicionalmente, se realiza una comparación entre la demanda de algunos combustibles en las regiones Huancavelica, Lima y Moquegua, y como se observa en la Figura 15, el consumo estimado para la ciudad de estudio es mínimo.

Tabla 7.

*Combustibles que se emplean para cocinar los alimentos en los hogares de la región Huancavelica, Perú en el 2017.*

|                                   | Hogares        | Porcentaje  |
|-----------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Combustibles limpios</b>       |                |             |
| Gas (balón GLP)                   | 36 728         | 35.3%       |
| <b>Combustibles contaminantes</b> |                |             |
| Leña                              | 52 214         | 50.1%       |
| Varios tipos de combustibles      | 10 098         | 9.7%        |
| Bosta/estiércol                   | 5 039          | 4.8%        |
| Carbón                            | 50             | 0.05%       |
| Otros                             | 31             | 0.03%       |
| <b>Total</b>                      | <b>104 160</b> | <b>100%</b> |

Nota. Adaptado de Perú: Perfil sociodemográfico, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

Tabla 8.

*Estimación de la demanda anual per cápita de combustibles fósiles en el departamento de Huancavelica para el año 2017.*

|                | Demanda departamental | Demanda anual per cápita estimada |
|----------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Gasohol        | 315 000 L             | 0.9 L                             |
| Diésel         | 696 906 L             | 2 L                               |
| GLP automotriz | 1 987 L               | 0.01 L                            |
| GLP a granel   | 36 726 L              | 0.11 L                            |
| Leña           | 336 kt                | 966.5 kg                          |
| Bosta y yareta | 28 kt                 | 80.6 kg                           |

Nota. Estimación de la demanda anual por habitante de combustibles fósiles en la ciudad de Huancavelica. Población a nivel departamental equivalente a 347 639 para el año 2017, según INEI (2018a).

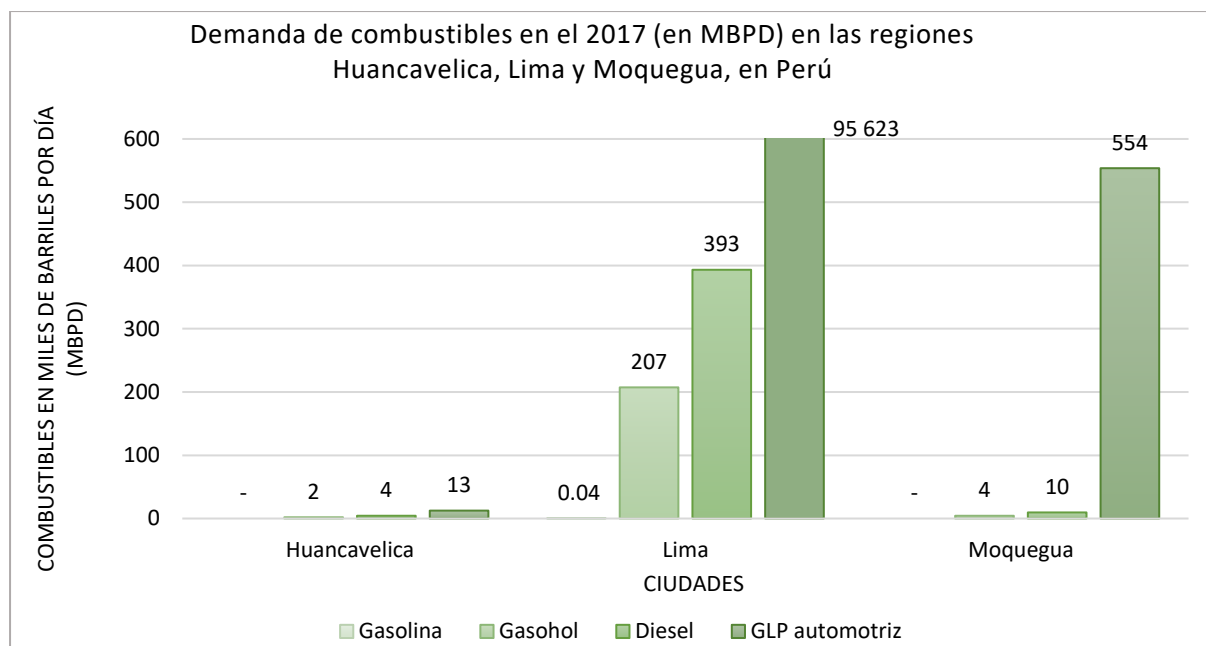


Figura 15. Comparación de la demanda de combustibles en las regiones Huancavelica, Lima y Moquegua, en Perú para el año 2017.

La ONU recomienda el uso de energías limpias con la finalidad de reducir las emisiones de GEI y así, contribuir con la mitigación del cambio climático. El gas natural es un combustible más limpio que otros combustibles fósiles debido a que no requiere azufre ni plomo y emite menos GEI a la atmósfera (Periferia y WWF Perú, 2019). Es así como, a nivel nacional, se viene incrementando el uso del gas natural en reemplazo del gas licuado de petróleo (GLP) y, a la fecha, según informan Periferia y WWF Perú, se han reducido las emisiones en 43 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) en el sector residencial. Mientras que, en el sector transporte, el ingreso de gas natural ha evitado la generación de más de 1 millón de toneladas de CO<sub>2</sub>eq; a partir de esto, se generan ahorros económicos y prevención de impactos negativos en la salud humana (Periferia y WWF Perú, 2019). En ese sentido, es importante resaltar que, si bien el Gobierno Peruano ha prohibido la venta del kerosene diésel N°1 para mitigar la producción de estupefacientes en el país, esta medida influye en la disminución de contaminación que se genera por el uso de estos combustibles. Así, se promueve el uso de gas licuado de petróleo (GLP) en reemplazo del kerosene y diésel N°1, lo cual está vinculado a la meta siete de los ODS, que se enfoca en el incremento de energías renovables respecto del total de fuentes energéticas. Actualmente, el Estado Peruano viene tomando acciones con respecto a la masificación del gas natural a nivel nacional con la finalidad de beneficiar a los hogares, principalmente a las zonas más vulnerables y alejadas. De este modo, la región Huancavelica es una de las siete regiones que

serían beneficiadas con el proyecto de distribución de gas natural por red de ductos que el Gobierno tiene en estado de promoción (MINEM, 2018c). Así, se promueve la meta de salud y bienestar que se enfoca en la reducción de enfermedades y muertes por la contaminación del aire, en el caso de la ciudad de estudio, porque las personas emplean combustibles contaminantes para cocinar sus alimentos en espacios cerrados.

#### **5.1.1.4. Materiales de construcción**

En la ciudad de Huancavelica, según el INEI (2018a), el 97% del total de pobladores habita en viviendas particulares, el 2.5% en viviendas colectivas y el resto en otro tipo de espacios. El total de viviendas que se reporta para el 2017 en la ciudad de Huancavelica es de 15 797, de las cuales el 91% se encuentran ocupadas; a su vez, del total de viviendas ocupadas, 11 699 viviendas concentran 38 668 habitantes presentes en el año 2017 (INEI, 2018a). Asimismo, se especifica que 993 pobladores habitan en viviendas colectivas (hospedajes, campamentos, conventos, centros de salud, entre otros) y 115, en otros espacios (puertos, aeropuertos, entre otros) (INEI, 2018a). En el mismo reporte, el INEI distribuye las viviendas particulares con personas presentes (11 699) en la ciudad de Huancavelica según el tipo de material predominante en las paredes exteriores, techos y pisos. De esta manera, como se observa en la Tabla 10, el 54% de las paredes exteriores están construidas principalmente por ladrillos o bloques de cemento, seguido de tapia y adobe con 20% y 18%, respectivamente. Los principales materiales que forman parte de los techos de las viviendas particulares, como se observa en la Tabla 11, son el concreto armado (50%), las planchas de calamina, fibra de cemento o similares (30%) y tejas (17%). Mientras que, en los pisos de las viviendas, tal como se muestra en la Tabla 12, predominan el cemento y la tierra con 49% y 30%, respectivamente; solo un 11% de las viviendas presentan losetas, terrazos, cerámicos o similares en sus pisos.

*Tabla 9.*

*Ocupantes por tipo de vivienda en la ciudad de Huancavelica, Perú en el 2017.*

|                               | Ocupantes     | Viviendas     |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| <b>Viviendas particulares</b> | <b>38 668</b> | <b>11 699</b> |
| Casa independiente            | 30 409        | 8 628         |
| Departamento en edificio      | 647           | 232           |
| Vivienda en quinta            | 1 996         | 711           |
| Vivienda en casa de vecindad  | 5 289         | 1 957         |

|   |               |     |
|---|---------------|-----|
| Choza o cabaña                            | 291           | 158 |
| Vivienda improvisada                      | 14            | 5   |
| Local no destinado para habitación humana | 22            | 8   |
| <b>Viviendas colectivas</b>               | <b>993</b>    |     |
| Hotel, hostel, hospedaje, casa pensión    | 265           |     |
| Establecimientos de salud                 | 161           |     |
| Conventos, monasterios o similares        | 47            |     |
| Cuartel, campamento, base de FF.AA. o PNP | 28            |     |
| Otro (campamento minero, comisaría, etc.) | 492           |     |
| <b>Otro tipo</b>                          | <b>115</b>    |     |
| Garita, puerto, aeropuerto o similares    | 115           |     |
| <b>Total</b>                              | <b>39 776</b> |     |

Nota. Número de ocupantes por tipo de vivienda en la ciudad de Huancavelica, Perú. Adaptado de Censo Nacional 2017 - Huancavelica - Tomo X, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

Tabla 10.

*Material de construcción predominante en las paredes exteriores de las viviendas particulares con personas presentes en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.*

|                                   | Ocupantes     | Viviendas     |
|-----------------------------------|---------------|---------------|
| Ladrillo o bloque de cemento      | 20 340        | 6 309         |
| Piedra o sillar con cal o cemento | 724           | 237           |
| Adobe                             | 7344          | 2 077         |
| Tapia                             | 8 341         | 2 384         |
| Quincha (caña con barro)          | 44            | 18            |
| Piedra con barro                  | 1 654         | 597           |
| Madera (pona, tornillo, etc.)     | 78            | 27            |
| Triplay/calamina/estera           | 143           | 50            |
| <b>Total</b>                      | <b>38 668</b> | <b>11 699</b> |

Nota. Adaptado de Censo Nacional 2017 - Huancavelica - Tomo X, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

Tabla 11.

*Material de construcción predominante en los techos de las viviendas particulares con personas presentes en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.*

|  | Ocupantes     | Viviendas     |
|--|---------------|---------------|
| Concreto armado                                    | 18 764        | 5 831         |
| Madera   | 174           | 50            |
| Tejas  | 7 058         | 2 054         |
| Planchas de calamina, fibra de cemento o similares | 12 040        | 3 510         |
| Caña o estera con torta de barro o cemento         | 215           | 63            |
| Triplay/estera/carrizo                             | 132           | 45            |
| Paja, hoja de palmera y similares                  | 285           | 146           |
| <b>Total</b>                                       | <b>38 668</b> | <b>11 699</b> |

Nota. Adaptado de Censo Nacional 2017 - Huancavelica - Tomo X, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

Tabla 12.

*Material de construcción predominante en los pisos de las viviendas particulares con personas presentes en la ciudad de Huancavelica, Perú en 2017.*

|  | Ocupantes     | Viviendas     |
|--|---------------|---------------|
| Parquet o madera pulida                          | 668           | 229           |
| <b>Láminas asfálticas, vinílicos o similares</b> | <b>255</b>    | <b>96</b>     |
| Losetas, terrazos, cerámicos o similares         | 3 766         | 1 280         |
| Madera (pona, tornillo, etc.)                    | 2 677         | 886           |
| Cemento  | 19 185        | 5 702         |
| Tierra   | 12 117        | 3 506         |
| <b>Total</b>                                     | <b>38 668</b> | <b>11 699</b> |

Nota. Adaptado de Censo Nacional 2017 - Huancavelica - Tomo X, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

A nivel nacional, para el año 2017, la producción total de cemento fue de 9 980 mil toneladas (kt) y la producción de clinker fue de 7 834 kt; mientras que el despacho nacional fue de 9 554 kt (ASOCEM, 2018). La exportación e importación de cemento alcanzaron las 354 y 615 kt, respectivamente; por otro lado, se exportaron 549 kt y se importaron 525 kt de clinker (ASOCEM, 2018). El consumo total de cemento en territorio peruano equivale a la sumatoria del despacho nacional y las importaciones de cemento; así, se estima un consumo interno total de 10 169 kt de cemento. La Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM) estima que el consumo anual de cemento por persona para el año 2017, en Perú, es de 319 kg. No se cuenta con información acerca de la venta local de cemento en la ciudad de Huancavelica, pero sí a nivel departamental, cuyo valor alcanzó las 83 816 toneladas para el año 2017 (INEI, 2018c). Se estima entonces, a partir del número total de habitantes del departamento (347 639), que el consumo anual per cápita aproximado de cemento en la ciudad, es de 241 kg. De esta manera, con la misma información que reporta el INEI, a modo de comparación, se estima el consumo promedio anual de cemento por habitante en las regiones de Lima y Moquegua. Así, se estima que el consumo medio de cemento por habitante en Lima es de 378 kg; mientras que, para un habitante de Moquegua, el consumo anual es de 644 kg. Por otro lado, se estima que el consumo promedio anual de cemento para un habitante en España es de 264 kg. Esto, a partir de la demanda doméstica equivalente a 12.3 millones de toneladas de cemento y la población total para el año 2017 (Agrupación de fabricantes de cemento de España, 2018). Ver Figura 16.

Por otro lado, el INEI (2018c) reporta la venta de 1.31 millones de toneladas de barras de acero de construcción a nivel nacional en el año 2017. Se estima entonces, que el consumo aproximado de una persona es 42 kg de barras de acero de construcción para dicho año. Es importante mencionar que en este flujo no se toma en cuenta el consumo de ladrillos de arcilla puesto que, a nivel nacional, aproximadamente el 65% de productores son informales, lo que no permite la contabilización de la producción y venta total de este producto. Cabe resaltar que este grupo de empresas informales pertenecen al mercado nacional y cuentan, generalmente, con el Registro Único de Contribuyentes (RUC) pero no cuentan con un sistema de control ambiental, certificaciones y no facturan al 100% (Perú Construye, 2020).



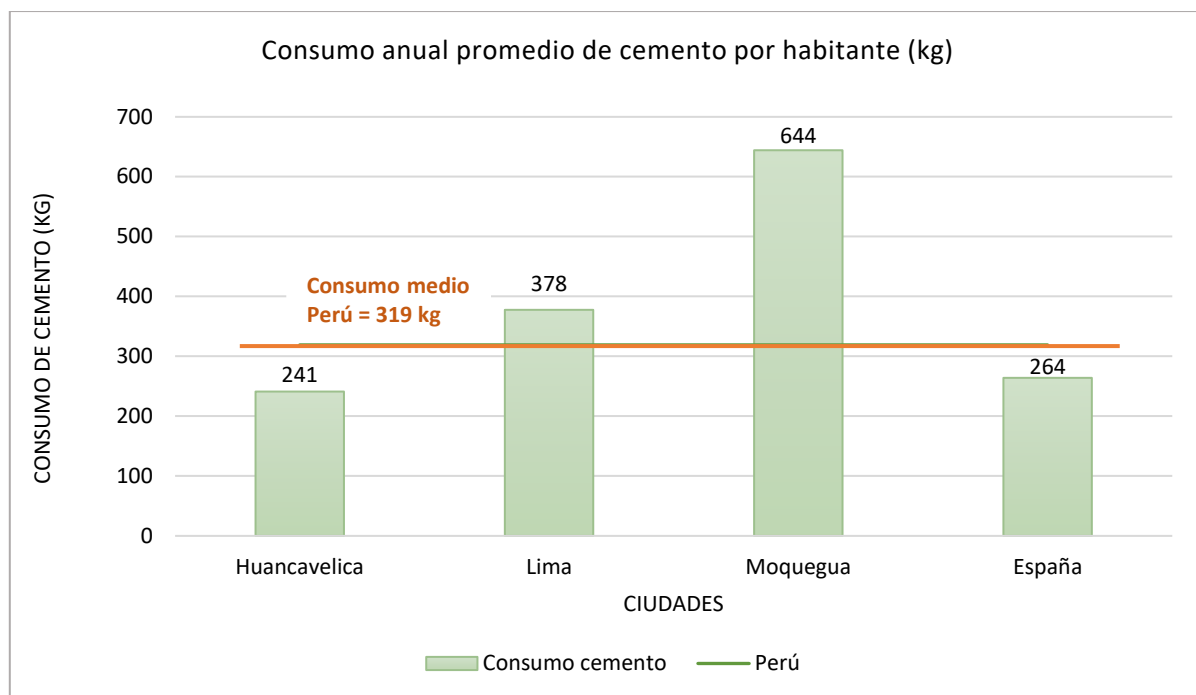


Figura 16. Consumo anual promedio de cemento por habitante en las regiones de Huancavelica, Lima, Moquegua y a nivel nacional en España, para el año 2017.

Respecto a los ODS, la meta 11, de ciudades y comunidades sostenibles, fomenta a incrementar la capacidad de planificación y gestión participativa a fin de generar urbanizaciones inclusivas, sostenibles y resilientes (ONU, 2015). Así mismo, las metas nueve y 12 promueven la construcción de infraestructuras sostenibles, resilientes y de calidad, y el uso de materiales que mejoren el nivel de vida material a fin de generar desarrollo económico y bienestar social sin descuidar ni dañar el medio ambiente.

#### 5.1.1.5. Electricidad

En el Perú, las principales fuentes de producción de energía eléctrica son hidráulicas, térmicas, solares y eólicas, con participación del 55%, 42%, 0.5% y 2% respectivamente en el año 2017 (INEI, 2018a). En la región Huancavelica hay tres centrales hidroeléctricas representativas: Antúnez de Mayolo y Restitución, de Electroperú S.A. y Cerro del Águila de Kallpa Generación S.A., por lo que prácticamente la totalidad de la producción de energía eléctrica proviene de la energía hidráulica. La cobertura de electricidad por red pública en el departamento de Huancavelica es del 89% con respecto al total de población para el año 2017, según INEI (Instituto Peruano de Economía, 2018). La empresa pública de derecho privado Electrocentro S.A., a través de la Unidad de Negocio Huancavelica, es la encargada de brindar el servicio de electricidad en la ciudad de Huancavelica. La cantidad de clientes a los que la

empresa distribuidora presta servicios en la región asciende a 73 123 habitantes y su área de concesión es de 2 893 km<sup>2</sup> (Electrocentro, 2018). Electrocentro S.A. brinda el servicio de electricidad a, aproximadamente, el 21% del total de población de Huancavelica, a nivel departamental, y a otras seis regiones del centro del Perú. La información que se toma para el análisis de este flujo en la ciudad de estudio es la reportada por el MINEM para la región Huancavelica y no la información de la empresa distribuidora, puesto que esta última reporta un informe general para su área de concesión.

En el año 2017, la producción total de energía eléctrica en la región Huancavelica es de 9 279 GW.h, tanto para el mercado regulado como para el mercado libre, de donde el 99.9% es generada por centrales hidroeléctricas (MINEM, 2018a). Cabe resaltar que al mercado regulado pertenecen los pequeños y medianos consumidores, y el Estado interviene en la tarifa a pagar; mientras que, en el mercado libre se encuentran las mineras y empresas industriales que fijan una tarifa directamente con las empresas distribuidoras de energía. Puesto que el fin es estimar el consumo medio anual de energía eléctrica por habitante, este valor se obtiene en base a la información reportada para el mercado regulado. El total de clientes de este mercado en el departamento de Huancavelica es 98 178 y la venta total de energía eléctrica para el año 2017 es de 53 GW.h (MINEM, 2018a); de esta manera, se estima un consumo anual de energía eléctrica para un hogar de Huancavelica equivalente a 540 kW.h. El consumo anual per cápita de energía se estima en base al promedio de habitantes del hogar reportado por el INEI, 3.1 para la región Huancavelica; se determina así un gasto de 174 kW.h. Así mismo, en base a la facturación total del mercado regulado equivalente a 10 779 miles de dólares americanos (MINEM, 2018a), se estima que el gasto medio anual de cada cliente en energía eléctrica es de 373 nuevos soles (tasa de cambio igual a 3.4). Es decir, el pago anual de energía por un habitante es de 120.4 nuevos soles.

Se analiza el consumo total de energía eléctrica en la región Huancavelica por sectores económicos. El sector residencial utiliza el 75% de electricidad, mientras que el sector comercial y servicios, y el sector industrial consumen el 14% y 11% respectivamente. En la Tabla 15 se muestra el detalle de uso de electricidad en las actividades representativas de los sectores comercial y servicios e industrial. De estas actividades, el mayor consumo es de la minería, con un 74% respecto de la venta total de electricidad en la región; el alumbrado público, la administración pública y el comercio son las otras actividades con mayor consumo de energía eléctrica. Es importante mencionar que la venta total de energía en el departamento

de Huancavelica es el 0.4% respecto de la venta total a nivel nacional, mientras que la producción de electricidad en la región es el 18% de la producción total a nivel nacional.

Tabla 13.

*Mercado de energía eléctrica de la región Huancavelica en el año 2017 y estimación del consumo anual por habitante para la ciudad de estudio.*

|   | Mercado regulado | Mercado libre | Total  |
|---|------------------|---------------|--------|
| Número de clientes                              | 98 178           | 5             | 98 183 |
| Venta de energía eléctrica (GW.h)               | 53               | 142           | 195    |
| Facturación de energía eléctrica (miles US \$)  | 10 779           | 7 625         | 18 404 |
| <b>Consumo anual por hogar estimado (kW.h)</b>  | 540              | -             | -      |
| <b>Consumo anual per cápita estimado (kW.h)</b> | 174              | -             | -      |
| Gasto medio anual por hogar estimado (\$)       | 110              | -             | -      |
| Gasto medio anual per cápita estimado (\$)      | 35               | -             | -      |

Nota. Adaptado de Estadística eléctrica por regiones en Anuario Estadístico de Electricidad 2017, por Ministerio de Energía y Minas, 2018.

Tabla 14.

*Consumo de energía y facturación por sector económico en la región Huancavelica en el año 2017.*

|  | Comercial y servicios | Industrial | Residencial | Total  |
|--|-----------------------|------------|-------------|--------|
| Número de clientes                             | 10 567                | 650        | 86 966      | 98 183 |
| Venta de energía eléctrica (GW.h)              | 26                    | 147        | 22          | 196    |
| Facturación de energía eléctrica (miles US \$) | 4 938                 | 8 263      | 5 203       | 18 404 |

Nota. Adaptado de Estadística eléctrica por regiones en Anuario Estadístico de Electricidad 2017, por Ministerio de Energía y Minas, 2018.

Tabla 15.

*Consumo de energía por actividades de los sectores económicos comercial y servicios e industrial.*

|  | Número de clientes | Venta de energía eléctrica (GW.h) | Facturación de energía eléctrica (miles US \$) |
|--|--------------------|-----------------------------------|--|
| Actividades comunitarias y esparcimiento | 1 222              | 0.7                               | 169  |
| Administración pública                   | 1 542              | 5                                 | 1 026  |
| Agricultura y ganadería                  | 16                 | 0.02                              | 3.5  |
| Alumbrado público                        | -                  | 6                                 | 893  |
| Comercio                                 | 4 085              | 3                                 | 704  |
| Construcción                             | 106                | 1                                 | 143  |
| Enseñanza                                | 1 777              | 3                                 | 656  |
| Hoteles y restaurantes                   | 395                | 0.8                               | 173  |
| Inmobiliarias                            | 142                | 0.2                               | 56   |
| Intermediación financiera                | 53                 | 0.5                               | 104  |
| Manufactura                              | 508                | 0,5                               | 133  |
| Minería                                  | 17                 | 145                               | 7 931  |
| Organizaciones extraterritoriales        | 38                 | 0.01                              | 2.7  |
| Pesca                                    | 3                  | 0.4                               | 53   |
| Servicio social y de salud               | 406                | 2.7                               | 477  |
| Suministros de electricidad, agua, gas   | 10                 | 0.2                               | 27   |
| Transporte y telecomunicaciones          | 897                | 4                                 | 649  |
| <b>Total</b>                             | <b>11 217</b>      | <b>173.5</b>                      | <b>13 201</b>                                  |

Nota. Adaptado de Estadística eléctrica por regiones en Anuario Estadístico de Electricidad 2017, por Ministerio de Energía y Minas, 2018.

Se realiza una comparación del consumo anual de energía eléctrica por hogar entre la ciudad de estudio y las ciudades de Moquegua y Lima; la estimación y comparación se realiza a nivel regional y se toma la información reportada por el MINEM para el mercado regulado (ver Figura 17). De esta manera, el consumo medio anual de electricidad por hogar en

Moquegua es de 1 756 kW.h y 4 708 kW.h en Lima; mientras que el consumo medio a nivel nacional es de 2 716 kW.h. El sector industrial es el que consume mayor electricidad en las tres regiones; y, mientras que el sector residencial usa el 11% y 3% de energía en Huancavelica y Moquegua respectivamente, en Lima se destina el 32% a dicho sector. Por otro lado, a nivel nacional en España, país donde la principal fuente de energía eléctrica es la energía nuclear seguida de la energía eólica, el consumo medio nacional anual de electricidad por hogar es de 6 000 kW.h (Red eléctrica de España, 2018).

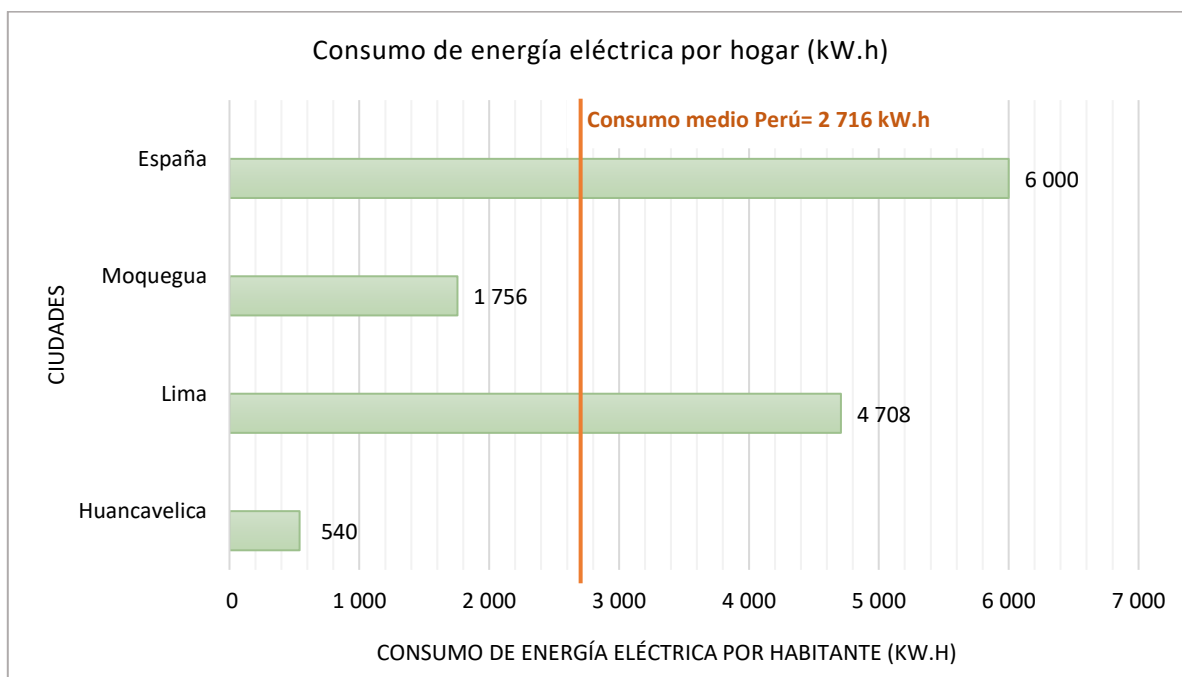


Figura 17. Consumo promedio de energía eléctrica por hogar en las regiones de Huancavelica, Lima, Moquegua y España para el año 2017.

Como se explica anteriormente, las principales fuentes generadoras de energía eléctrica en Huancavelica son las centrales hidroeléctricas; estas emplean la energía hidráulica, a diferencia de las centrales térmicas, que utilizan combustibles fósiles para generar energía eléctrica. De esta manera, las hidroeléctricas permiten reducir el daño al medio ambiente y a la salud humana por la explotación y quema de combustibles fósiles. Los ODS nueve y 12 tienen como finalidad suministrar el servicio de energía eléctrica eficiente y sostenible a toda la población, así como cumplir con informar adecuadamente a fin de generar el consumo responsable de electricidad. Si bien es importante impulsar el uso de fuentes de energía renovables, también se debe concientizar a la población acerca del consumo responsable de la energía eléctrica con la finalidad de disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros GEI que afectan negativamente en el medio ambiente.

#### 5.1.1.6. *Espacios verdes*

En el Perú, la formación de nuevas zonas urbanas debido al crecimiento desordenado en las ciudades ha generado la deforestación e invasión de espacios cuyo principal uso era la agricultura o espacios destinados a áreas verdes. Al construir edificaciones en estas áreas, se concentra mayor calor en el ambiente y, al no existir áreas verdes suficientes para mitigar los GEI emitidos y acumulados en la atmósfera, tal como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), se afecta negativamente al medio ambiente por la contaminación del aire. LA Network (2021) enfatiza la importancia de tener zonas verdes en la ciudad a fin de impactar de manera positiva en el bienestar socioambiental de los habitantes. Esto es, es imprescindible tener espacios verdes inclusivos, seguros y sostenibles en las ciudades, que contribuyan a la limpieza del aire contaminado a fin de disminuir el riesgo de enfermedades respiratorias, promover buenos hábitos e, inclusive, según se ha demostrado en estudios recientes, evitar la ocurrencia de enfermedades mentales (La Network, 2021).

El ente encargado de la planificación y mantenimiento de las zonas verdes en las ciudades peruanas son los municipios; sin embargo, debido a los altos costos de dichas tareas, se presenta un problema deficitario en muchas ciudades del país. El Ministerio del Ambiente (MINAM) (2018) menciona que, debido a que a cada municipio le compete planificar y mantener los espacios libres urbanos, no existe un método estandarizado que se emplee para la cuantificación de la superficie de área verde urbana en su jurisdicción. De esta manera, la única información sobre los espacios públicos e infraestructura natural es la dotación de espacios verdes públicos que reporta el INEI a partir de la información registrada por las municipalidades (PERIFERIA y WWF Perú, 2019).

El MINAM (2020a), a través del Sistema de Información Ambiental Regional (SIAR), señala que la superficie de área verde urbana por habitante en la región Huancavelica en el año 2014 es de 3 m<sup>2</sup>, valor menor al de años anteriores, por ejemplo 4.4 m<sup>2</sup> en el año 2013. En enero de 2019, PERIFERIA, en alianza con la Asociación de Municipalidades del Perú (AMPE), presenta el Primer Reporte Nacional de Indicadores Urbanos 2018 de las principales ciudades del Perú con un enfoque en sostenibilidad y resiliencia. En este informe, se considera la ciudad capital de Huancavelica y la ciudad emergente de Ascensión como una sola área para la evaluación de los indicadores, en el departamento de Huancavelica. Se le define como ciudad intermedia por la cantidad de pobladores que habitan en ella. Así, la ciudad de Huancavelica registra, para el año 2015, según INEI (2015), una dotación de espacios verdes públicos equivalente a 0.9 m<sup>2</sup> por habitante (PERIFERIA y WWF Perú, 2019).

Para que una ciudad sea sostenible, esta debe contar con áreas verdes urbanas, es decir, espacios públicos compuestos principalmente por vegetación; además, estos espacios abiertos contribuyen con la mejora de la calidad de vida de los habitantes (MINAM, 2018). La OMS indica la necesidad de incrementar los espacios libres en las ciudades debido al gran crecimiento poblacional. Esto debido a que estos espacios enlazan el hogar, la vecindad y la aglomeración urbana con el medio circundante, por lo que el Estado debe intervenir (MINAM, 2018). Además, los espacios verdes son necesarios para la captación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La ONU recomienda que, por cada habitante, debe existir por lo menos 16 m<sup>2</sup> de áreas verdes; mientras que, la OMS recomienda, como mínimo, 9 m<sup>2</sup> de área verde por cada persona en una ciudad (Fundación Mi Parque, 2012).

Se realiza una comparación entre la dotación de espacios verdes entre la ciudad de estudio, otras ciudades a nivel nacional y una ciudad extranjera (ver Figura 18). Para el año 2016, el MINAM (2020a) reporta que, en San Isidro, ubicado en la ciudad metrópoli nacional, la superficie verde urbana por habitante es 20 m<sup>2</sup>. La ciudad de Moquegua, en la sierra de Perú, presenta 1.3 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante en el año 2015, según INEI. Por otro lado, la ciudad europea de Madrid reporta una dotación de 18 m<sup>2</sup> de zonas verdes por cada habitante. Tanto la ciudad de Huancavelica como la ciudad de Moquegua se encuentran lejos de cumplir con la dotación de áreas urbanas mínimas recomendada por la OMS y, más lejos aún de la recomendada por la ONU. Mientras que, tanto San Isidro como Madrid superan las recomendaciones de ambos organismos. Como se menciona anteriormente, el crecimiento poblacional en las zonas urbanas genera que, debido a la necesidad de vivienda, se saturan los espacios por lo que se impactan negativamente los ecosistemas naturales. Así, el ODS 11, de ciudades y comunidades sostenibles, promueve la generación de zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y de acceso universal (ONU, 2015). De igual manera, es importante proteger los ecosistemas terrestres a fin de evitar la degradación de las tierras y evitar la pérdida de biodiversidad. La OMS recomienda el diseño de ciudades con áreas verdes conectadas entre sí, de tal manera que los habitantes vivan cerca de un espacio abierto y lleguen al área verde más cercana en menos de quince minutos caminando (Instituto Metropolitano de Planificación, 2010).

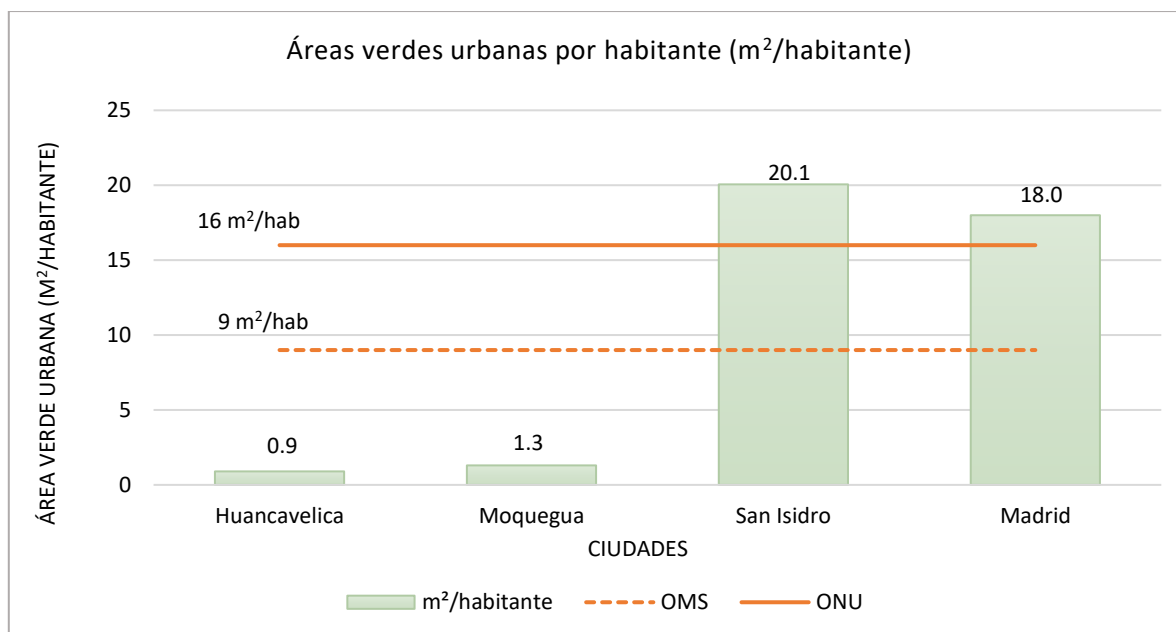


Figura 18. Dotación de espacios verdes públicos en las ciudades de Huancavelica, Moquegua, San Isidro y Madrid para el año 2015.

#### 5.1.1.7. Transporte

En la región Huancavelica, el principal medio de transporte es el terrestre, es decir, los desplazamientos de un lugar a otro se realizan por carretera y transporte ferroviario. Este último traslada a la población desde la ciudad de Huancayo hasta la ciudad de Huancavelica y tiene una longitud de 128.7 kilómetros. Actualmente no se cuenta con transporte aéreo y el Gobierno Regional (2005) explica que los aeródromos construidos se encuentran en estado de abandono. Para el 2016, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) reporta en su Anuario Estadístico 2017, que la longitud de la red vial para el departamento de Huancavelica alcanza los 8 232 kilómetros. Mientras que la red vecinal o local es de 4826 kilómetros, de los cuales, el 44% es trocha y el 36% se encuentra sin afirmar, tal como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16.

Longitud de la red vial por tipo de superficie de rodadura en el departamento de Huancavelica, Perú en 2017. (En kilómetros)

|                     | Asfaltada | Afirmada | Sin afirmar | Trocha | Total        |
|---------------------|-----------|----------|-------------|--------|--------------|
| <b>Huancavelica</b> |           |          |             |        | <b>8 232</b> |
| Red Nacional        | 1 181     | 183      | -           | 40     | 1 404        |
| Red Departamental   | 21        | 1 606    | 126         | 249    | 2 002        |



|             |     |     |       |       |       |
|-------------|-----|-----|-------|-------|-------|
| Red Vecinal | 0.7 | 940 | 1 750 | 2 136 | 4 826 |
|-------------|-----|-----|-------|-------|-------|

Nota. Adaptado de Anuario Estadístico 2017, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018. Valores en kilómetros.

En el Primer Reporte Nacional de Indicadores Urbanos, PERIFERIA y WWF Perú (2019) comentan que Huancavelica es la ciudad de la región homónima con menor tasa de motorización, pues hay, en promedio para el año 2016, 2.6 automóviles por cada mil habitantes. Del reporte del censo del 2017 presentado por el INEI, se obtiene información acerca de la cantidad de vehículos por tipo en la ciudad de Huancavelica. Así, se determina que, aproximadamente, el 7.5% del total de hogares cuenta con al menos un automóvil o camioneta y, aproximadamente el 4% del total de hogares cuenta con una motocicleta. Por otro lado, se realiza una comparación de las tasas de motorización entre la ciudad de estudio, la ciudad de Moquegua, donde se contabilizan 80 vehículos por cada mil habitantes, y la ciudad de Lima, donde existen 175 vehículos por cada mil habitantes. Mientras que, en la ciudad de Madrid, España, se reportan 532 vehículos por cada mil habitantes. Ver Figura 19.

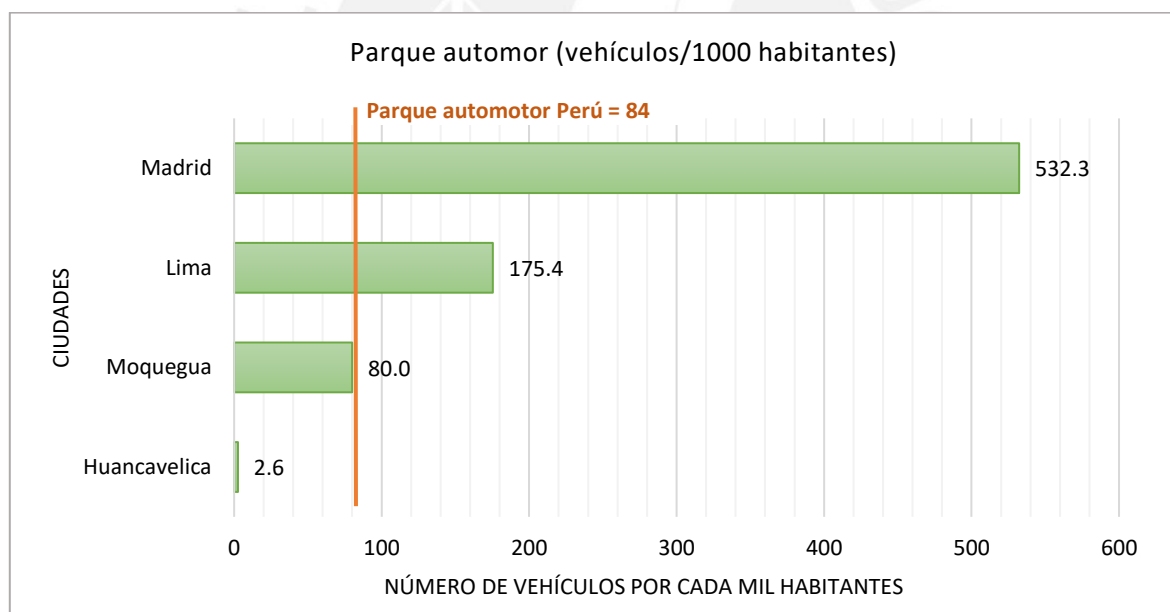


Figura 19. Número de vehículos por cada mil habitantes en las ciudades de Huancavelica, Moquegua, Lima y Madrid en el año 2016.

En una ciudad, es importante analizar el parque automotor pues este genera emisiones de GEI, tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producto del uso de combustibles contaminantes para su funcionamiento. El consumo de combustibles por el parque automotor en la ciudad de Huancavelica se incluye en el flujo de combustibles fósiles, donde se menciona la demanda regional de 2 mil barriles por día (MBPD) de gasohol, 4.3 MBPD de diésel y 12.5 MBPD de

GLP. De igual manera, como se observa en la Figura 15, se realiza una comparación entre la demanda de combustibles entre las regiones de Huancavelica, Lima y Moquegua. Respecto a los ODS, la finalidad del tercero, de salud y bienestar, es la adecuada planificación y control del sistema de transportes a fin de reducir el número total de lesiones y muertes por la ocurrencia de accidentes de tránsito (ONU, 2015). Así también, el ODS siete promueve el empleo de combustibles limpios para los vehículos con el propósito de reducir las emisiones contaminantes. Mientras que el ODS nueve fomenta la construcción de infraestructura básica, como las redes viales, con el objeto de mejorar la comunicación y accesibilidad, y así, la calidad de vida de la población. Asimismo, el objetivo 11, especifica que se debe proporcionar un sistema de transporte seguro, sostenible y accesible para todos a fin de mejorar la seguridad vial; esto incluye al transporte público, el cual debe prestar especial atención a la población vulnerable (ONU, 2015).

### **5.1.2. Salidas del ecosistema urbano Huancavelica**

#### **5.1.2.1. Aguas residuales**

Tal como se menciona en el punto 4.1.1.1., la empresa pública de derecho privado EMAPA HVCA S.A. es la encargada de brindar el servicio de agua potable y alcantarillado a los habitantes de la ciudad de estudio. La empresa prestadora de servicios (EPS) administra la recolección de aguas residuales en la ciudad de Huancavelica a través de un sistema que funciona por gravedad. La red de colectores recoge el 99% del total de aguas negras que se generan en la ciudad y las deriva al interceptor o colector principal, que las descarga directamente al río Ichu en seis puntos; el 1% restante vierte las aguas residuales a siete tanques sépticos (EMAPA HVCA, 2018). Se debe resaltar que desde el año 2000 se encuentra inoperativa la planta de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización u oxidación de la ciudad, motivo por el que se vierten las aguas residuales del colector principal al río sin tratamiento alguno desde esa fecha. Así mismo, de los siete tanques sépticos existentes, cuatro requieren mantenimiento y uno debe reconstruirse; EMAPA HVCA (2018) especifica que empleará recursos propios para rehabilitar los tanques sépticos. En la Figura 20 se muestra el esquema general del sistema de alcantarillado en la ciudad de Huancavelica.



Figura 20. Esquema general del sistema de alcantarillado en la ciudad de Huancavelica.

Tomado de “Estudio Tarifario”, por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018, p. 54. Copyright 2020 por Fiorella Guerrero.

Tabla 17.

Puntos de descarga, al río Ichu, del 99% de aguas residuales que se generan en la ciudad de Huancavelica.

| Punto                 | Ubicación                                    | Margen    | Caudal (l/s) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|
| 1                     | Detrás del terrapuerto (Ascensión)           | Izquierdo | 6.2          |
| 2                     | Detrás del colegio “San Juan María Villaney” | Derecho   | 5.0          |
| 3                     | Jr. Córdova (Ascensión)                      | Izquierdo | 8.5          |
| 4                     | Puente del Ejército                          | Izquierdo | 15.5         |
| 5                     | Jr. Huayna Cápac Virgen de la Candelaria     | Izquierdo | 5            |
| 6                     | Seschachaca Villa Cariño                     | Izquierdo | 75           |
| Total de vertimientos |  |           | 115          |

Nota. Puntos de vertimiento directo, sin tratamiento alguno, al río Ichu, de aguas residuales recolectadas por la red pública de alcantarillado en la ciudad de Huancavelica. Adaptado de Estudio Tarifario, por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018.

Tabla 18.

*Detalle de tanques sépticos que recolectan el 1% de aguas residuales de la ciudad de Huancavelica, Perú.*

| Nombre           | Tipo        | Caudal (l/s) |
|------------------|-------------|--------------|
| Cascadas         | Rectangular | 0.1          |
| Caballo Pampa    | Rectangular | 0.3          |
| Bosque 1         | Rectangular | 0.2          |
| Bosque 2         | Rectangular | 0.2          |
| Calle S/N 1      | Rectangular | 0.05         |
| Calle S/N 2      | Rectangular | 0.03         |
| Puente Disparate | Rectangular | 0.1          |
| Total            |             | 0.95         |

Nota. Detalle de los siete tanques sépticos que recolectan el 1% de aguas residuales en la ciudad de Huancavelica y, una vez tratadas, las descargan al río Ichu. Adaptado de Estudio Tarifario, por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018.

La presión promedio del servicio de alcantarillado es 36 mca y la continuidad promedio es de 22 horas al día (GRT, 2018). Del total de conexiones de la cobertura de alcantarillado por red pública (9 626), el 93% se encuentran activas. Se estima que EMAPA HVCA recoge las aguas residuales del 70% de habitantes de la ciudad de estudio; mientras que, el 1.4% de habitantes hace uso de los tanques sépticos, 174 viviendas según la Gerencia de Regulación Tarifaria (2018). Para la estimación de la descarga de aguas residuales anual por habitante en el sistema de estudio se toma el dato del total de población que deriva sus aguas residuales al sistema de alcantarillado a nivel distrital (39 632) y del volumen facturado por la EPS (2.1 millones de m<sup>3</sup>/año). De esta manera, cada poblador descarga, aproximadamente, 146.5 litros diarios de aguas negras a la red de colectores. Cabe resaltar que la estimación de la cantidad de aguas residuales generada por habitante se estima en base al volumen recolectado por la red pública de alcantarillado. El porcentaje de población que no cuenta con conexión al sistema de alcantarillado se ve forzada a derivar sus aguas residuales a otros medios, dentro de los cuales se pueden mencionar los pozos ciegos, ríos, acequias, canales, campos abiertos, letrinas, entre otros.

Tabla 19.

*Estimación de la generación de aguas residuales anual per cápita en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017.*

|   | Unidad                          | Total  |
|---|---------------------------------|--------|
| Conexiones totales                        |                                 | 9 623  |
| Conexiones activas                        |                                 | 8 956  |
| Habitantes servidos por la EPS            |                                 | 39 632 |
| Volumen facturado por la EPS              | millones de m <sup>3</sup> /año | 2.1    |
| Monto facturado por la EPS                | millones de nuevos soles        | 4.2    |
| <b>Descarga per cápita anual estimada</b> | m <sup>3</sup> /año             | 53     |
| Descarga per cápita diaria estimada       | L/día                           | 146.5  |

Nota. Estimación del volumen de aguas residuales generados diariamente por un habitante de la ciudad de Huancavelica, Perú en base a lo recolectado por la red pública de alcantarillado. Adaptado de Estudio Tarifario, por Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS, 2018.

Las descargas de aguas negras en el medio, sin tratamiento alguno, contaminan los cuerpos de agua y, al mismo tiempo, por infiltración de estas, contaminan las aguas subterráneas, por lo que se convierten en focos infecciosos para la población, flora y fauna (OEFA, 2014). De esta manera, se estiman las emisiones contaminantes al río Ichu producto de la descarga de aguas residuales domésticas y comerciales que se generan en la ciudad de Huancavelica. Cabe resaltar que para la estimación de contaminantes se toma como dato el total de agua que recogen los colectores principales según la empresa prestadora de servicios, es decir, el total de aguas servidas generadas per cápita. Para este fin, se toma como referencia la composición típica de las aguas residuales sin tratamiento de Metcalf y Eddy, 2014 citado en Torre, 2018 que se muestran en la Tabla B1 (Anexo B). Se estima a partir de dicha tabla, interpolando linealmente y en base a los 146.5 litros diarios de aguas residuales generados por cada habitante, la concentración de los componentes de nitrógeno, fósforo y materia orgánica presentes en la descarga de aguas negras. Estos tres últimos son los parámetros que generalmente se emplean para la caracterización de las aguas residuales domésticas. Se debe resaltar que, para estimar la concentración de materia orgánica, esta se realiza de manera indirecta a través de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es decir, se determina la

cantidad de materia orgánica a partir de la cantidad de oxígeno necesario para la descomposición de la materia orgánica sin la presencia de microorganismos vivos.

Tabla 20.

*Concentración de componentes de aguas residuales sin tratamiento para una generación diaria de 146.5 litros per cápita.*

| Constituyente              | Unidad | Cantidad |
|----------------------------|--------|----------|
| Nitrógeno, total           | mg/L   | 76.8     |
| Fósforo, total             | mg/L   | 12.2     |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L   | 1 132.3  |
| Sólidos en suspensión      | mg/L   | 433.4    |

Nota. Estimación de la concentración de constituyentes de las aguas residuales para una dotación diaria de 146.5 litros por habitante en la ciudad de estudio, en base a las concentraciones típicas de Metcalf y Eddy, 2014 citado en Torre, 2018. Ver Tabla B1 (Anexo B).

Tabla 21.

*Estimación de la concentración de constituyentes en el total de aguas residuales descargadas en la ciudad de Huancavelica para el año 2017.*

| Constituyente              | Unidad | Cantidad |
|----------------------------|--------|----------|
| Nitrógeno                  | t      | 149      |
| Fósforo                    | t      | 23.7     |
| Demanda Química de Oxígeno | t      | 2 196    |
| Sólidos en suspensión      | t      | 840.5    |

Nota. Estimación de los componentes del total de aguas residuales domésticas y comerciales generadas en la ciudad de Huancavelica en el año 2017.

Se observa que el consumo estimado de agua potable por cada habitante (144 L/día) es menor a la descarga diaria estimada de aguas residuales (146.5 L/día). Se debe recordar que el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) especifica que el caudal de contribución al alcantarillado debe ser calculado con un coeficiente de retorno (C) de 80% del valor de agua potable consumida (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006). La GRT (2018) explica que, al volumen de agua vertida a la red de alcantarillado, se adicionan otras contribuciones tales como infiltraciones por nivel freático, lluvias y pérdidas tanto técnicas

como no técnicas. Por otro lado, con la finalidad de mejorar el sistema de alcantarillado de la ciudad y cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), la EPS ha inscrito un proyecto en el marco de acciones de articulación del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Este proyecto, “Instalación de interceptores, colector principal, emisor y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Huancavelica, provincia y departamento de Huancavelica”, permitirá lograr una prestación eficiente y sostenible del servicio. Así también, referente al plan de acción de lucha contra la pobreza, este proyecto promueve tanto la protección del medio ambiente como la mejora de calidad de vida de la población. De esta manera, se pretende cumplir con el ODS seis, que fomenta el acceso total a servicios de saneamiento e higiene adecuados y que garanticen el fin de acciones insalubres tales como defecación al aire libre (ONU, 2015). Así también, dicho ODS resalta la necesidad de tratar adecuadamente las aguas residuales antes de descargarlas a los cuerpos receptores; esto a fin de proteger tanto el ecosistema natural como la salud de la población.

#### **5.1.2.2. Residuos sólidos**

La entidad encargada de la recolección, transporte y disposición final de los residuos generados en una ciudad, ya sean domiciliarios, comerciales o de la limpieza de áreas públicas, son las municipalidades provinciales y distritales. El manejo ineficiente de los residuos sólidos representa uno de los principales problemas ambientales en las zonas urbanas puesto que afecta tanto la salud humana como el ecosistema urbano debido a la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Mientras mayor sea el crecimiento poblacional y la intensidad económica en una ciudad, sobre todo en las áreas urbanas, se generan mayores cantidades de residuos sólidos en el tiempo. En el año 2012, según el MINAM, el sector residuos fue causante del 5% de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional, donde la descomposición de los residuos genera el 77% de las emisiones de este sector (PERIFERIA y WWF Perú, 2018). La Dirección General de Calidad Ambiental del MINAM ha implementado el Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos (SIGERSOL) para informar a la población sobre la gestión de residuos sólidos de los municipios a nivel nacional.

La información referida a este flujo se obtiene de un estudio de caracterización de residuos sólidos municipales realizados a una muestra de 92 viviendas en la ciudad de estudio por la Municipalidad Provincial de Huancavelica en el año 2016. Esto porque el último reporte del Municipio en el sistema de información del MINAM es referente al año 2015 y el número de la muestra para la caracterización de residuos que realizan es de 54 viviendas. El concejo

estima que la generación de residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios en la ciudad de Huancavelica es de 0.54 y 0.33 kilogramos diarios por habitante, respectivamente (Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016). Se consideran las siguientes fuentes generadoras de residuos sólidos no domiciliarios: limpieza de calles (69%), mercados (13%), comercio (12%), instituciones educativas (3%) e instituciones públicas (3%). Así, si se contabilizan los residuos sólidos municipales como la suma de residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios, el total de residuos generados diariamente por cada habitante de la ciudad equivale a 0.87 kg. Por otro lado, el informe de la Municipalidad Provincial muestra los resultados del estudio de caracterización de los residuos sólidos domiciliarios y, como se observa en la Tabla 22, la materia orgánica representa el 64% del total de residuos sólidos domiciliarios.

Tabla 22.

*Composición física de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Huancavelica, 2016.*

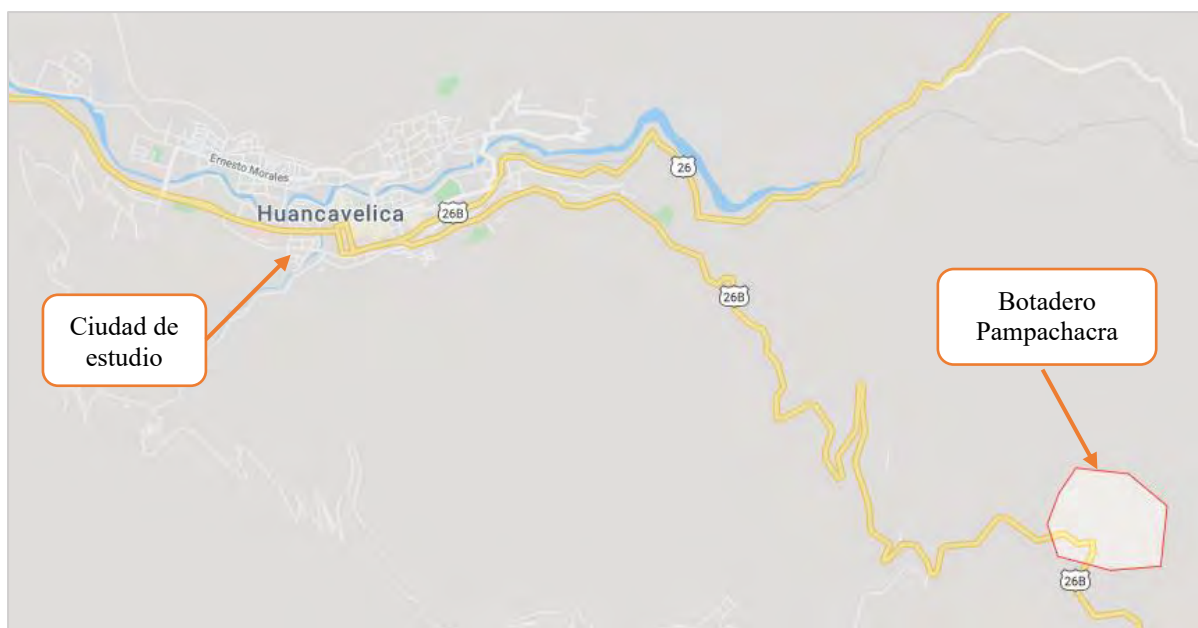
| Componente           | Porcentaje (%) |
|----------------------|----------------|
| Materia orgánica     | 64.2           |
| Madera, follaje      | 0.4            |
| Papel bond           | 2.1            |
| Papel periódico      | 1.7            |
| Cartón               | 2.3            |
| Vidrio               | 0.8            |
| Plástico PET         | 0.7            |
| Plástico PEAD        | 0.3            |
| Plástico PVC         | 0.1            |
| Plástico duro        | 0.8            |
| Bolsas               | 5.6            |
| Tetrapack            | 0.2            |
| Tecnopor y similares | 0.8            |
| Metales              | 0.3            |
| Telas, textiles      | 0.7            |



|   |      |
|---|------|
| Caucho, cuero y jebe                                  | 0.2  |
| Pilas   | 0.03 |
| Restos de medicinas, focos                            | 0.4  |
| Residuos sanitarios                                   | 7.6  |
| Residuos inertes                                      | 4.8  |
| Envolturas  | 0.9  |
| Latas   | 0.9  |
| Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) | 0.1  |
| Huesos  | 2.2  |
| Otros   | 1.8  |

Nota. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Huancavelica a partir del estudio de caracterización a una muestra de 92 viviendas. Adaptado de Estudio de caracterización de los residuos sólidos en Huancavelica, por Municipalidad Provincial de Huancavelica, 2016.

Respecto a la disposición final de los residuos, en el informe del año 2015 de SIGERSOL, el Municipio reporta que la ciudad cuenta con un micro relleno sanitario ubicado dentro de su jurisdicción y que el área estimada es de 70 mil m<sup>2</sup>. Sin embargo, según el Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos (PIGRS) de Huancavelica, la disposición final de los residuos generados en la ciudad se realiza en el botadero Pampachacra. Este último se encuentra ubicado fuera de la delimitación en espacio del sistema de estudio, a 13 kilómetros de la ciudad, tal como se muestra en la Figura 21. El botadero es administrado por el Municipio Provincial y sus representantes comentan que se realiza el tratamiento de los residuos sólidos a través de la segregación de la materia orgánica y materia inorgánica reciclable. El material orgánico es aprovechado a través del compostaje y el material inorgánico no reciclable es colocado en una trinchera protegida con geomembrana y cubierta con tierra (Municipalidad Provincial Huancavelica, 2015). En el mismo PIGRS, el Municipio resalta las gestiones que realizan para la clausura del botadero y la construcción de una planta de tratamiento de residuos sólidos.



*Figura 21.* Botadero Pampachacra, donde se depositan los residuos sólidos generados en la ciudad de Huancavelica, ubicado fuera de la delimitación en espacio del sistema de estudio.

Así, se estima que la generación de residuos sólidos municipales en la ciudad de Huancavelica fue de 11 490 toneladas para el año 2017. Es importante mencionar que, en abril de 2019, la Contraloría General advirtió de riesgos para la salud humana y el medio ambiente por la ineficiente gestión de residuos sólidos por parte del Municipio Provincial de Huancavelica. En un operativo realizado por el órgano de control, se encontraron botaderos informales, desechos acumulados en la vía pública, personal encargado de la recolección, transporte y disposición final sin los implementos adecuados ni exámenes médicos ocupacionales (Contraloría General, 2016). Sin embargo, la acumulación de basura tanto en las calles de la ciudad de estudio como a lo largo del río Ichu, es tema de noticia desde años anteriores. Las autoridades que han pasado por el concejo en los últimos 12 años coinciden en que la falta de cultura de manejo adecuado de residuos por parte de la población es el principal factor de la constante problemática (Diario Correo, 2015). Cabe resaltar en este punto que, para este estudio, se considera que el total de residuos sólidos generados en el área urbana se destina al botadero de Pampachacra puesto que, si bien se hace referencia a acumulación de basura en las calles y a lo largo del río Ichu, no se cuenta con información respecto a esta cantidad o porcentaje del total.

El ODS 11 promueve la reducción en el impacto negativo ambiental a partir de una gestión eficiente de manejo de desechos municipales. Esto permitiría cumplir con el ODS seis, el cual refiere a reducir la emisión de productos y materiales peligrosos, así como cuidar el

ecosistema al no acumular desperdicios en la vía pública o botaderos informales. Como se ha mencionado anteriormente, aproximadamente el 64% del total de residuos sólidos domiciliarios es materia orgánica, es decir, desperdicios de alimentos; esto sin considerar los residuos orgánicos que se generan en la producción y suministro de alimentos en la ciudad. De esta manera, el ODS 12 promueve la producción y consumo responsable por parte de la población a manera de reducir la generación de desperdicios a lo largo de toda la cadena de ciclo de vida de los productos.

### **5.1.2.3. Calidad y emisiones al aire**

La información respecto a la calidad del aire que se respira en la ciudad de estudio se toma del Informe Nacional de la Calidad del Aire para el rango de años 2013 -2014, último presentado. En dicho reporte se presenta la información relacionada a los parámetros: material particulado (PM10, PM2,5), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). La ciudad de Huancavelica es considerada Zona de Alta Prioridad (ZAP), denominada así por el Ministerio del Ambiente (MINAM), por lo que se monitorean los parámetros mencionados para determinar la calidad del aire. El material particulado es una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire (aerosoles) y se dividen según su tamaño en partículas con diámetro igual o menor a 10, 2,5 y 1 micra (MINAM, 2016b). Los aerosoles formados por sulfatos absorben radiación solar e intensifican el calentamiento de la superficie terrestre producido por los gases de efecto invernadero (MINAM, 2016b). El mayor porcentaje de material particulado se encuentra en las áreas urbanas puesto que provienen de fuentes móviles por la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural y gas licuado) utilizados por el parque automotor. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es un gas incoloro y no inflamable, de olor asfixiante e irritante, cuyo tiempo de duración en la atmósfera es corto (de 2 a 4 días); luego, parte del total se deposita en la superficie terrestre (MINAM, 2016b). El SO<sub>2</sub> es causante de la lluvia ácida porque es soluble en el agua y puede presentarse por el uso de desinfectantes. Se generan, en mayor porcentaje (más del 50%), por actividades antropogénicas tales como la combustión del carbón y petróleo; así también, las fundiciones, siderurgia y refinerías son fuentes móviles; y los volcanes son fuentes naturales (MINAM, 2016b). El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas tóxico, irritante, cuyos componentes son el oxígeno y nitrógeno, y afecta la salud humana. Al igual que el SO<sub>2</sub>, el NO<sub>2</sub>, al ser soluble en el agua, produce su acidificación. El NO<sub>2</sub> es un contaminante frecuente en zonas urbanas y se emite de fuentes antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, de fuentes naturales como la

descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y pastos, y de la actividad volcánica (MINAM, 2016b).

Las fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos se distinguen en dos tipos: fijas y móviles. Las fuentes fijas pueden ser puntuales, derivadas de la generación de energía eléctrica y procesos industriales; de área, producto del empleo de desinfectantes; y naturales, tales como volcanes, emisiones biogénicas, entre otros (INECC, 2007). Mientras que las fuentes móviles son las que genera el parque automotor por el uso de combustibles fósiles. En el Informe de Calidad del Aire, el MINAM (2016b) especifica que las principales fuentes contaminantes en la ciudad de Huancavelica son naturales, móviles y de área (servicios y comercios). En las Figuras 22 y 23 se muestran las emisiones de contaminantes a la atmósfera en la ciudad de estudio según porcentaje procedentes de fuentes fijas y móviles, respectivamente. Dentro de los principales contaminantes, se encuentran: partículas totales en suspensión (PTS), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado (PM).

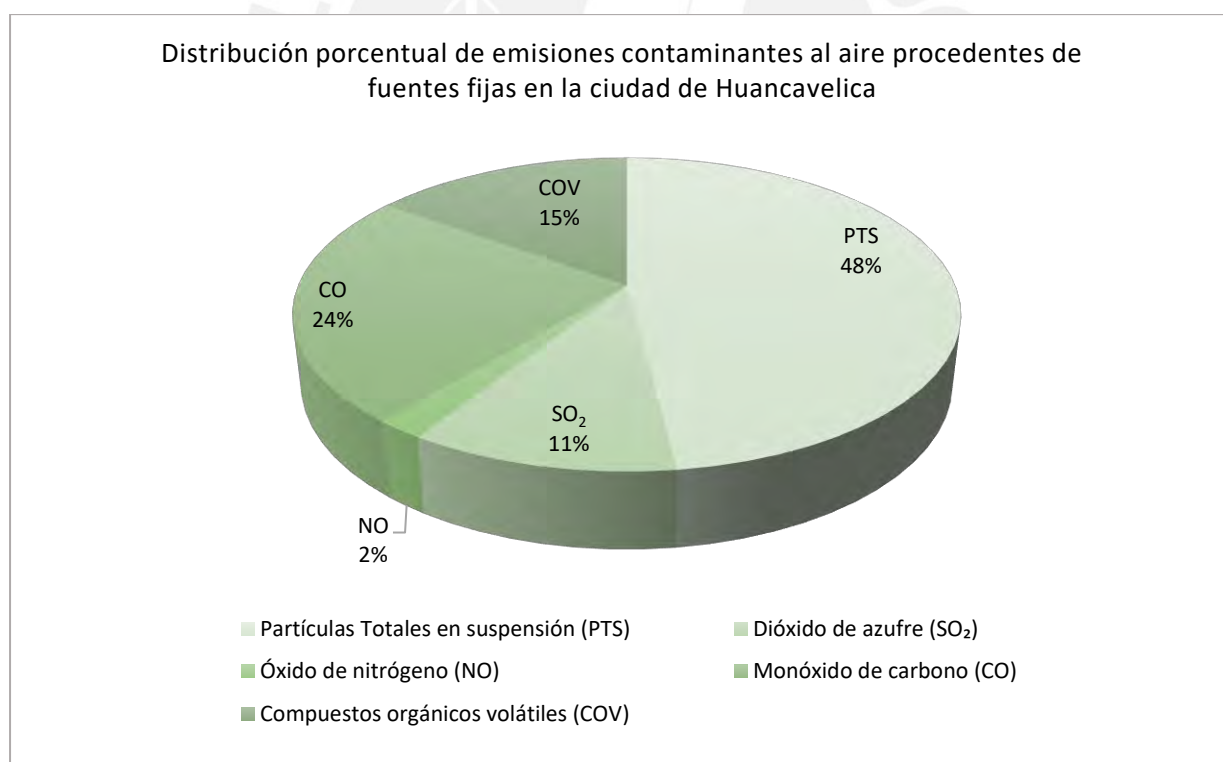
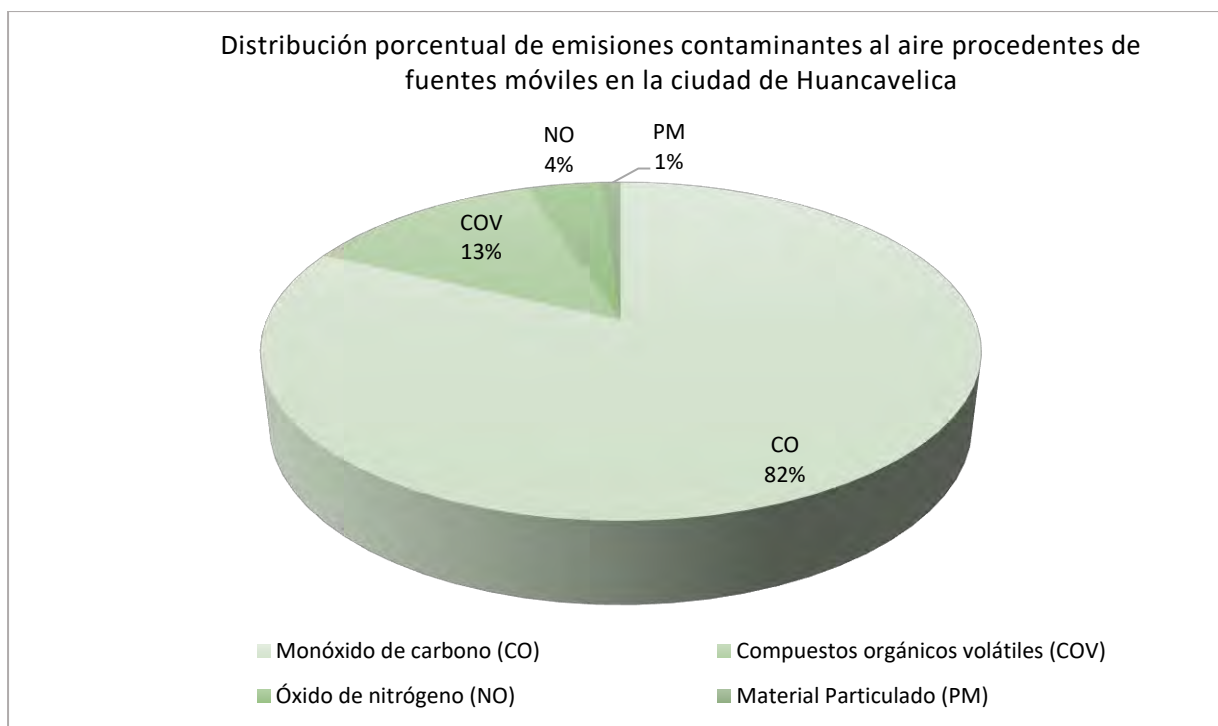


Figura 22. Distribución porcentual de emisiones contaminantes al aire procedentes de fuentes fijas en la ciudad de Huancavelica.

Adaptado de Informe Nacional de Calidad del Aire 2013-2014, por Ministerio del Ambiente, 2016.



*Figura 23.* Distribución porcentual de emisiones contaminantes al aire procedentes de fuentes móviles en la ciudad de Huancavelica.

Adaptado de Informe Nacional de Calidad del Aire 2013-2014, por Ministerio del Ambiente, 2016.

A partir del monitoreo que se realiza en la ciudad de estudio, por ser ZAP, se obtienen las concentraciones diarias promedio de los contaminantes atmosféricos en el año 2014. Así, en la Tabla 23 se muestran las concentraciones diarias mínimas y máximas, así como la concentración diaria promedio de los contaminantes en el aire, y se muestran los resultados de la calidad del aire en la ciudad de Huancavelica. Para esto, se realiza una comparación entre los parámetros de la ciudad de estudio y, tanto con el ECA para el aire establecido en el año 2017 en Perú como con los estándares permisibles de la OMS. Se demuestra así que la calidad del aire en la ciudad de Huancavelica es buena, es decir, cumple tanto con el ECA del aire en Perú como con los límites establecidos por la OMS, por lo que no representa riesgo alguno para la salud, y se pueden realizar actividades al aire libre.

Tabla 23.

*Concentraciones diarias promedio de contaminantes atmosféricos y calidad del aire en la ciudad de Huancavelica en el año 2014.*

| Contaminante atmosférico  | PM10         | PM2,5        | SO <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> |
|---|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Concentración diaria mínima (µg/m <sup>3</sup> )                                    | 13           | 7            | 5               | -               |
| Concentración diaria máxima (µg/m <sup>3</sup> )                                    | 68           | 14           | 13              | -               |
| Concentración diaria promedio (µg/m <sup>3</sup> )                                  | 24.8         | 12           | 8               | 42 (*)          |
| Límite diario máximo permitido por el ECA para el aire en Perú (µg/m <sup>3</sup> ) | 100          | 50           | 250             | 200 (*)         |
| Límite diario máximo permitido por la OMS (µg/m <sup>3</sup> )                      | 50           | 25           | 20              | 200 (*)         |
| <b>Calidad del aire en la ciudad de Huancavelica</b>                                | <b>Buena</b> | <b>Buena</b> | <b>Buena</b>    | <b>Buena</b>    |

(\*) **Concentración permitida por el período de 1 hora.**

Nota. Concentraciones diarias mínimas, máximas y promedio en la ciudad de Huancavelica, y calidad del aire con base en la comparación de dichas concentraciones con los Estándares de Calidad Ambiental del aire de Perú y la Organización Mundial de la Salud. Adaptado de Informe Nacional de Calidad del Aire 2013-2014, por Ministerio del Ambiente, 2016; Estándares de Calidad Ambiental para el aire, por Ministerio del Ambiente, 2017; Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, por Organización Mundial de la Salud, 2006.

Las emisiones de gases contaminantes atmosféricos por el consumo final de energía se obtienen del Anuario Peruano de Estadísticas Ambientales 2019 presentado por el INEI. El informe reporta las emisiones anuales generadas por habitante, a nivel nacional, de los siguientes gases contaminantes: monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO), óxido de azufre (SO) y material particulado (PM). Mientras que los otros contaminantes que se emiten al aire por el parque automotor se estiman a partir de la información presentada por el MINAM en el Estudio de Desempeño Ambiental (ESDA) 2003-2013. Es importante mencionar que las emisiones atmosféricas que reporta el MINAM en el mencionado informe, se ha realizado con una muestra de 870 033 unidades vehiculares de Lima y Callao para el año 2004. Así, en la Tabla 25 se presenta la estimación de emisiones producidas por el total de vehículos existentes en la ciudad de estudio (tasa vehicular equivalente a 2.6 por cada mil habitantes). Se debe

mencionar que no se ha especificado el tipo de vehículos evaluados por la entidad, ni los años de antigüedad, tipo de combustibles que utilizan, entre otros detalles de estos; y se ha tomado esta data para la estimación local puesto que es la única referencia encontrada.

Tabla 24.

*Estimación de emisiones de otros contaminantes atmosféricos por habitante, en el año 2017.*

| Emisiones de contaminantes atmosféricos | Monóxido de carbono (kg CO) | Óxido de Nitrógeno (kg NO) | Óxido de azufre (kg SO) | Material particulado (kg PM) |
|---|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| <b>Por consumo final de energía</b>     | 23.7                        | 0.1                        | 1.5                     | 2.4                          |
| <b>Por sectores económicos</b>          |                             |                            |                         |                              |
| Transporte                              | -                           | 0.04                       | 0.3                     | 0.2                          |
| Industria                               | -                           | -                          | 0.8                     | 0.1                          |
| Residencial y comercial                 | -                           | 0.01                       | 0.3                     | 99                           |

Nota. Estimación de emisiones de gases contaminantes al aire (monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, óxido de azufre y material particulado) por habitante, en el año 2017. Adoptado de 1.3.1. Calidad de aire en Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019.

Tabla 25.

*Estimación de las emisiones atmosféricas contaminantes anuales generados por el parque automotor en la ciudad de Huancavelica.*

| Emisiones de otros contaminantes atmosféricos                               | Monóxido de carbono (Gg CO) | Hidrocarburo (Gg HC) | Óxido de nitrógeno (Gg NO <sub>x</sub> ) | Material Particulado (Gg PM10) |
|---|-----------------------------|----------------------|--|--------------------------------|
| Emisiones para 870 033 vehículos de Lima y Callao                           | 668 480                     | 123 860              | 12 200                                   | 18140                          |
| Emisiones anuales por vehículo  | 0.8                         | 0.1                  | 0.01                                     | 0.02                           |
| Emisiones anuales totales del parque automotor en la ciudad de Huancavelica | 72                          | 13                   | 1.3                                      | 2                              |

Nota. Estimación de las emisiones atmosféricas anuales totales en la ciudad de Huancavelica generadas por el parque automotor. Estimado de 6.1.1. Emisiones de contaminantes atmosféricos en Estudio de Desempeño Ambiental 2003-2013, por Ministerio del Ambiente, 2015.

Los principales gases causantes del efecto invernadero por ser responsables de la absorción y emisión de radiación, es decir, los GEI, son el vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) y ozono ( $O_3$ ). Así, en este punto se analizan las emisiones de GEI generadas en la ciudad de estudio; estas se estiman por la disposición de residuos sólidos en tierra y por la quema de combustibles fósiles. En el punto 4.1.2.2., de residuos sólidos, se ha estimado que un habitante de la ciudad de Huancavelica genera 0.54 kilogramos diarios de desperdicios domiciliarios y 0.33 kilogramos diarios de residuos no domiciliarios. Como se menciona en dicho punto, la disposición final de los desperdicios municipales es un área de 578 km<sup>2</sup> de superficie ubicado fuera de la delimitación en espacio del sistema de estudio. Esta área es un botadero controlado, según indica el Municipio, en el que se generan emisiones de GEI, principalmente metano ( $CH_4$ ), por la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos. Si bien en la Tabla 22 se muestra que el 64% del total de residuos domiciliarios es materia orgánica y, el Municipio especifica el aprovechamiento de estos a través del compostaje, la estimación de emisiones de metano se realiza con la totalidad de desperdicios generados.

El cálculo de las emisiones de  $CH_4$  se estima con la metodología propuesta por el MINAM en el Reporte Anual de GEI del sector Desechos en el año 2014, la cual se basa en las metodologías de las Directrices del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). De esta manera, tal como se explica en el Anexo C, se emiten 288 toneladas anuales de metano ( $CH_4$ ) en la ciudad de Huancavelica por la disposición final de desperdicios sólidos, lo que equivale a 8 kg por cada habitante. Por otro lado, respecto a las emisiones que se generan por el consumo de energía en la ciudad, estas se estiman a partir del reporte Balance Nacional de Energía del MINEM para el año 2017 a nivel nacional. Así, con el total de emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ), y la población a nivel nacional en el año 2017 (31 237 385), se obtiene la generación de GEI por consumo final de energía y por sectores económicos. Se estima, entonces, que un habitante de la ciudad de estudio genera anualmente la emisión de 1 207 kg de  $CO_2$  por consumo de hidrocarburos líquidos, gases y, carbón y derivados; y, por consumo de biomasa, 412 kg de  $CO_2$ . La emisión total de metano, es decir, tanto por consumo final de energía como por la disposición final de residuos sólidos en tierra, es de 9.1 kg anual por habitante; y lo que se emite anualmente de óxido nitroso por consumo final de energía equivale a 0.05 kg por habitante.



Tabla 26.

*Emisiones de GEI, en Perú, por consumo final de energía y por sectores económicos, en el año 2017.*

| Emisiones de GEI                    | Dióxido de carbono<br>(10 <sup>6</sup> kg CO <sub>2</sub> ) | Metano<br>(10 <sup>6</sup> kg CH <sub>4</sub> ) | Óxido nitroso<br>(10 <sup>6</sup> kg N <sub>2</sub> O) |
|-------------------------------------|---|---|--|
| <b>Por consumo final de energía</b> |   |   |  |
| Hydrocarburos líquidos              | 30 857  | 5   | 1  |
| Gases                               | 5 143   | 3   | 0.1  |
| Carbón y derivados                  | 1 714   | 0.6   | -  |
| Biomasa                             | 12 857  | 27  | 0.5  |
| <b>Por sectores económicos</b>      |   |   |  |
| Transporte                          | 25 397  | 8   | 1  |
| Industria                           | 6 032   | 1   | 0.04   |
| Residencial y comercial             | 2 857   | 25  | 0.3  |

Nota. Emisiones de GEI por consumo final de energía y por sectores económicos en Perú. Adoptado de Capítulo VII: Impacto medio ambiental en Balance Nacional de Energía 2017, por Ministerio de Energía y Minas, 2018.

Tabla 27.

*Estimación de emisiones de GEI por habitante, en Perú, en el año 2017.*

| Emisiones de GEI                    | Dióxido de carbono<br>(kg CO <sub>2</sub> ) | Metano<br>(kg CH <sub>4</sub> ) | Óxido nitroso<br>(kg N <sub>2</sub> O) |
|-------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| <b>Por consumo final de energía</b> |   |                                 |  |
| Hydrocarburos líquidos              | 988   | 0.2                             | 0.04                                   |
| Gases                               | 165   | 0.1                             | -                                      |
| Carbón y derivados                  | 55  | 0.02                            | -                                      |
| Biomasa                             | 412   | 0.9                             | 0.01                                   |
| <b>Por sectores económicos</b>      |   |                                 |  |
| Transporte                          | 813   | 0.3                             | 0.04                                   |
| Industria                           | 193   | 0.03                            | -                                      |
| Residencial y comercial             | 92  | 0.1                             | 0.01                                   |

Nota. Estimación de emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso al aire por habitante en el año 2017, con base en las emisiones de contaminantes atmosféricos por consumo final de energía y por sectores a nivel nacional.

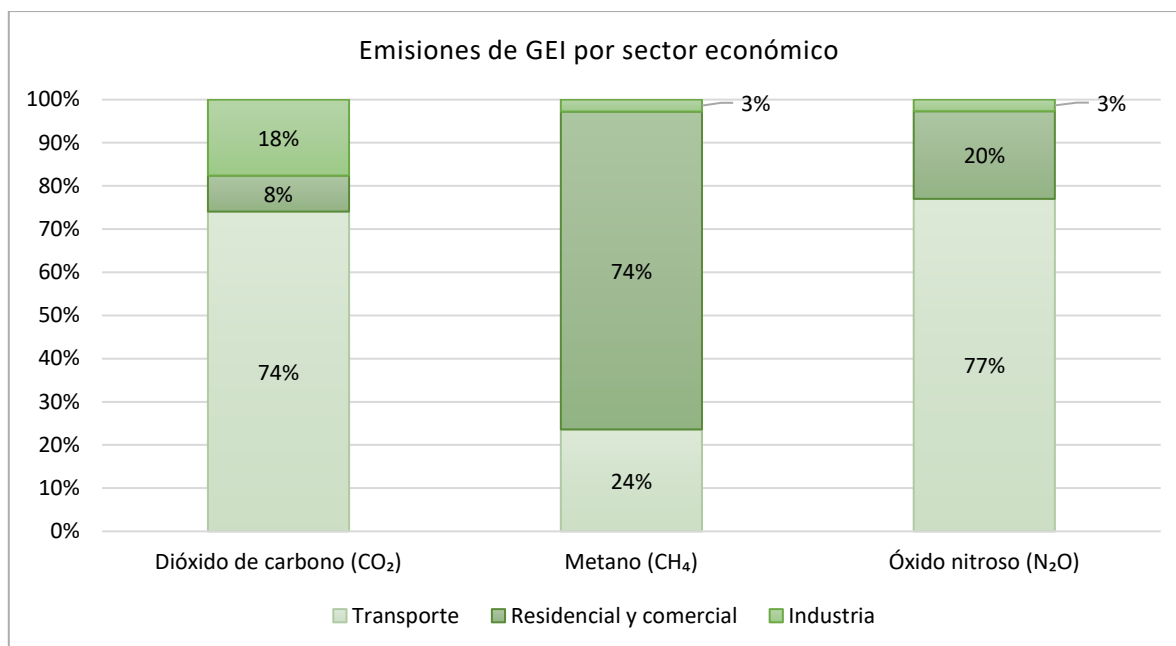


Figura 24. Distribución porcentual de emisiones de los principales GEI (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) por consumo de energía según sector económico en Perú.

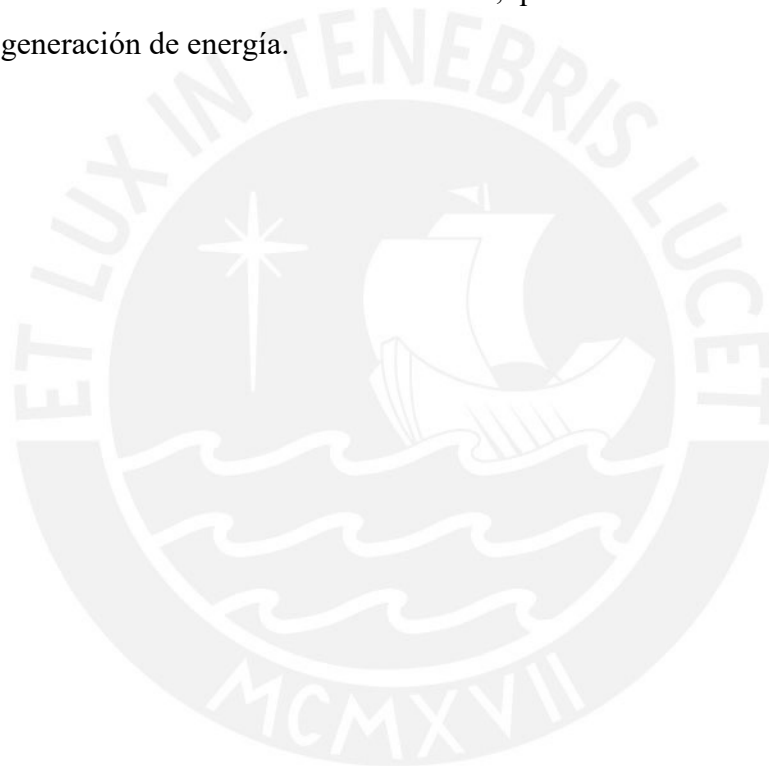
Estimado de Capítulo VII: Impacto medio ambiental en Balance Nacional de Energía 2017, por Ministerio de Energía y Minas, 2018.

Como se observa en las Tablas 24 y 25, el monóxido de carbono es el gas contaminante más emitido a la atmósfera. Si bien la calidad del aire en la ciudad de estudio es calificada como buena por cumplir tanto con el ECA del aire a nivel nacional como con los parámetros de la OMS, es necesario garantizar que las concentraciones de contaminantes atmosféricos no superen los límites permitidos. Esto como medida de protección de la salud de los pobladores, es decir, se debe asegurar que la calidad del aire que respiran los habitantes cumple con las normas de seguridad; así también, se reduce el impacto ambiental negativo en el medio ambiente (ONU, 2015). Por otro lado, en la Figura 24 se muestra el porcentaje de GEI emitidos por sectores, y se observa que el transporte es el principal emisor de dióxido de carbono y óxido nitroso; mientras que los sectores residencial y comercial generan el mayor porcentaje de metano. Es importante resaltar que este flujo en particular se ha estimado escalando la información a nivel nacional por la falta de datos a nivel local e, inclusive, regional.

## 5.2. Análisis del metabolismo urbano

Estimados los flujos de ingreso y salida en la ciudad de Huancavelica considerados para el presente estudio, en unidades per cápita anual, se realiza el análisis metabólico del sistema. El análisis se realiza para 36 268 habitantes del área urbana y se utiliza la herramienta PowerPoint para realizar el modelo del metabolismo urbano (ver Figura 25). Es importante

resaltar que no todos los flujos que ocurren en el sistema de estudio pueden ser contabilizados por distintos factores, principalmente, la no existencia de información calificada, es decir, datos cuantificables. Del metabolismo urbano estimado, se puede observar que no se cumple el balance de masa para el agua, en primer lugar. Esto es, como ya se ha explicado en el ítem de aguas residuales, por las distintas infiltraciones que pueden ocurrir; también se deben tener en cuenta las pérdidas en la conducción del agua potable mencionada en ese ítem. Así también, la cantidad de consumo de biomasa (leña, bosta y yareta), estaría sobreestimada puesto que este valor se ha escalado del dato de consumo a nivel regional, tal como se ha comentado en el ítem de combustibles fósiles y biomasa. Es decir, en este flujo se estaría estimando un consumo per cápita mayor al considerar el consumo de zonas rurales, que es donde se utiliza básicamente la biomasa para la generación de energía.



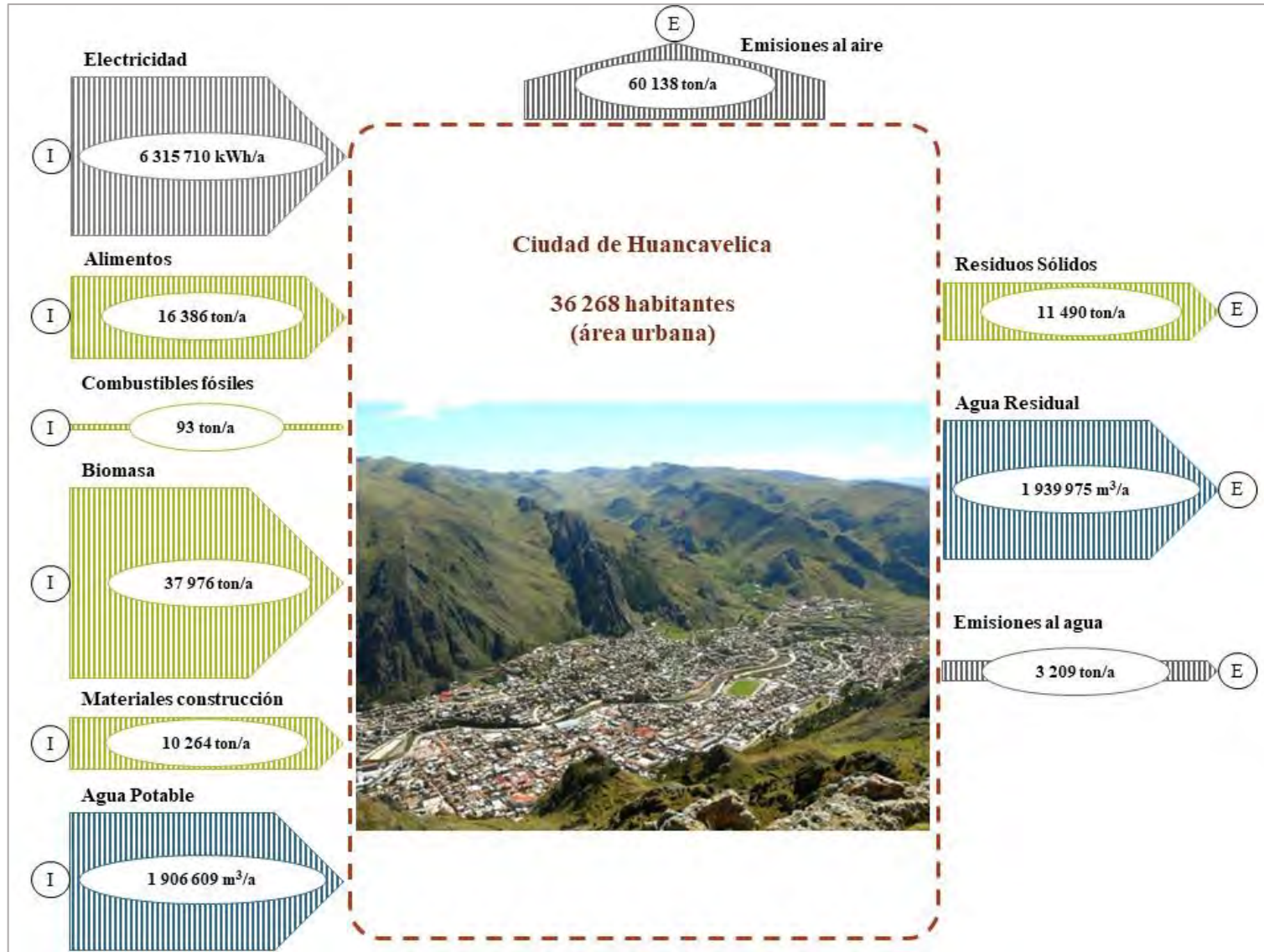


Figura 25. Análisis de metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú para el año 2017.

### 5.3. Presión ambiental: huella de carbono e impactos ambientales

Como se ha explicado anteriormente, a fin de conocer y analizar la magnitud de los posibles efectos negativos en el sistema de estudio como consecuencia de los flujos de consumo y generación que ocurren en este, se determinan los impactos ambientales. Para esto, se emplea la información estimada con el análisis de flujo de materiales del área urbana como inventario para realizar el modelado de análisis de ciclo de vida en el software SimaPro. En el Anexo D, en las Tablas D1 y D2 se describen y detallan los flujos de entrada y salida, respectivamente, así como la escala original y la fuente empleada.

El análisis del modelo se realiza para una población equivalente a 36 268 habitantes del área urbana de la ciudad de Huancavelica, Perú. En primer lugar, se estima cuánto influyen las actividades metabólicas, porcentualmente, en cada una de las categorías de impacto elegidas para el análisis. De esta manera, se determina que los combustibles fósiles y biomasa, y los alimentos generan mayor impacto en las categorías: calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación terrestre, toxicidad humana no cancerígena y escasez de recursos fósiles. Mientras que las emisiones al agua producto de la descarga directa, es decir, sin tratamiento alguno, de las aguas residuales al río Ichu, impacta significativamente (85%) en la eutrofización del agua dulce. Por otro lado, la escasez de recursos minerales presenta mayor porcentaje de impacto a causa del consumo de materiales de construcción (cemento y acero). En segundo lugar, para estimar la medida del impacto que se genera del metabolismo urbano, en términos de kilogramos de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub>eq), es decir, la huella de carbono, se emplea la información obtenida del análisis con el método IPCC 2013 100a. El dióxido de carbono y el metano fueron los GEI más emitidos en la ciudad de Huancavelica, en el año 2017 (ver Figura 26). Como se explica a mayor detalle líneas abajo, en el caso del modelado de los productos que forman parte de la dieta alimenticia, no se han encontrado todos en la base de datos del software SimaPro, por lo que se ha empleado bibliografía adicional existente. Esto a fin de incluir en la estimación de la huella de carbono la mayor parte posible del inventario determinado para el metabolismo urbano de la ciudad de estudio. Finalmente, la huella de carbono estimada del metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica para el año 2017 es 106.34 kt de CO<sub>2</sub>eq; de los cuales, el 60% es generado por los combustibles fósiles y biomasa, el 19% por los alimentos y el 11% por los materiales de construcción. Los residuos sólidos, la energía eléctrica y el agua potable son los procesos que contribuyen en menor porcentaje a las emisiones con 8%, 2% y 0.2%, respectivamente. Ver Tablas 28 y 29.

Tabla 28.

Análisis de impacto del metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017, usando el método ReCiPe 2016 Midpoint (H).

| <b>Proceso</b><br><b>Categoría</b><br><b>impacto ambiental</b> | <b>Agua potable</b> | <b>Alimentos</b> | <b>Combustibles<br/>fósiles y<br/>biomasa</b> | <b>Materiales de<br/>construcción</b> | <b>Energía<br/>Eléctrica</b> | <b>Residuos<br/>sólidos</b> | <b>Emisiones al<br/>agua</b> |
|--|---------------------|------------------|---|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| <b>Agotamiento del ozono<br/>estratosférico</b>                | 0.1%                | <b>95%</b>       | 3%  | 1%                                    | 0.8%                         | -                           | -                            |
| <b>Acidificación terrestre</b>                                 | 0.3%                | <b>57%</b>       | 32%   | 9%                                    | 1%                           | -                           | -                            |
| <b>Eutrofización del agua<br/>dulce</b>                        | 0.1%                | 10%              | 1%  | 3%                                    | 0.1%                         | -                           | <b>85%</b>                   |
| <b>Toxicidad humana no<br/>cancerígena</b>                     | 0.2%                | <b>92%</b>       | 3%  | 5%                                    | 0.3%                         | -                           | -                            |
| <b>Escasez de recursos<br/>minerales</b>                       | 0.7%                | 23%              | 10%   | <b>66%</b>                            | 0.6%                         | -                           | -                            |
| <b>Escasez de recursos<br/>fósiles</b>                         | 1%                  | <b>29%</b>       | <b>33%</b>                                    | <b>26%</b>                            | 10%                          | -                           | -                            |

Nota. Análisis porcentual del impacto de las actividades metabólicas que ocurren en la ciudad de Huancavelica en el año 2017, para 36 268 habitantes, en cada una de las categorías de impacto ambiental elegidas para el presente estudio. Elaboración propia, empleando el método ReCiPe 2016 Midpoint (H).

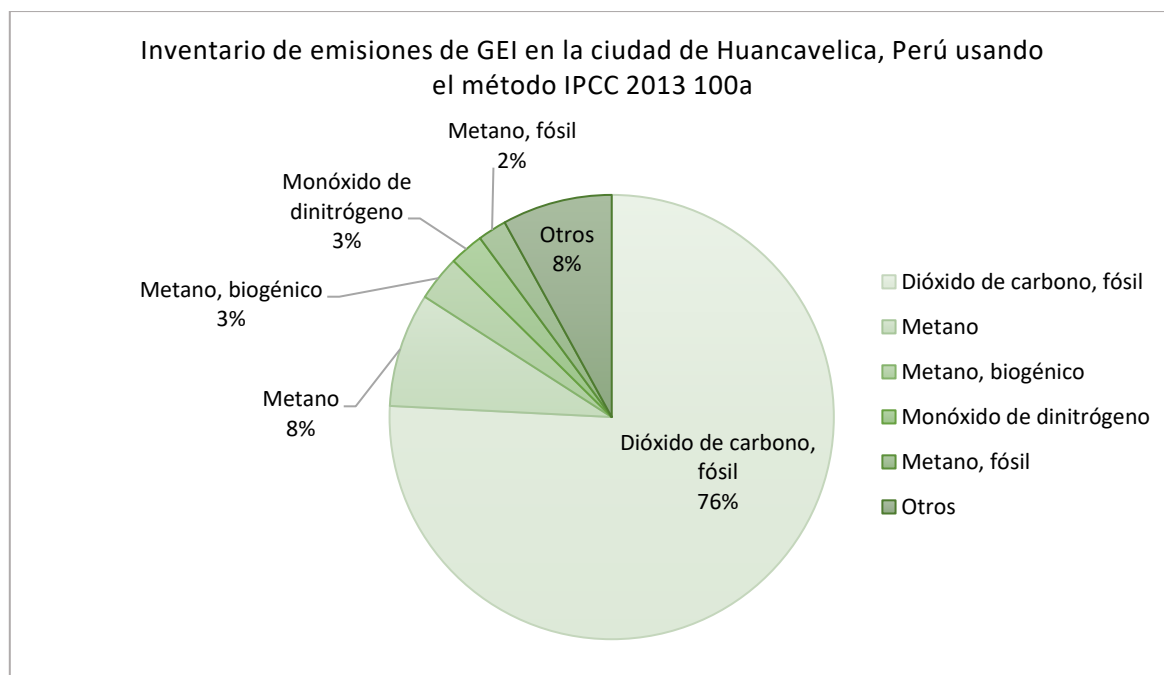


Figura 26. Emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017, empleando el método IPCC 2013 100a de SimaPro.

Tabla 29.

Impacto de los flujos metabólicos de la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017, en la huella de carbono empleando el método IPCC 2013 100a de SimaPro.

| Proceso                                   | Huella de carbono<br>(36 268 habitantes) | Huella de carbono<br>(per cápita) | Impacto en el<br>calentamiento global |
|---|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Agua potable                              | 0.24 kt CO <sub>2</sub> eq               | 6.7 kg CO <sub>2</sub> eq         | 0.2%                                  |
| Alimentos                                 | 20.4 kt CO <sub>2</sub> eq               | 562 kg CO <sub>2</sub> eq         | <b>19%</b>                            |
| <b>Combustibles fósiles<br/>y biomasa</b> | 63.9 kt CO <sub>2</sub> eq               | 1 762 kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>60%</b>                            |
| <b>Materiales de<br/>construcción</b>     | 11.3 kt CO <sub>2</sub> eq               | 312.7 kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>11%</b>                            |
| Energía eléctrica                         | 1.7 kt CO <sub>2</sub> eq                | 45.9 kg CO <sub>2</sub> eq        | 2%                                    |
| Residuos sólidos                          | 8.8 kt CO <sub>2</sub> eq                | 242.5 kg CO <sub>2</sub> eq       | 8%                                    |
| Emisiones al agua                         | -  | -                                 |                                       |
| <b>Total</b>                              | <b>106.3 kt CO<sub>2</sub>eq</b>         | <b>2.9 t CO<sub>2</sub>eq</b>     |                                       |

Nota. Análisis del impacto de las actividades metabólicas que ocurren en la ciudad de Huancavelica en el año 2017, para 36 268 habitantes y per cápita, en términos de dióxido de carbono equivalente (categoría de calentamiento global). Elaboración propia, empleando el método IPCC 2013 100a.

El suministro de agua potable en la ciudad de estudio genera 0.24 kt CO<sub>2</sub>eq de emisiones de GEI; mientras que la energía eléctrica y la disposición final de residuos sólidos generan 1.7 y 8.8 kt CO<sub>2</sub>eq, respectivamente. Según el análisis, estos tres procesos son los que generan menores emisiones a la categoría calentamiento global; así también, contribuyen en menor porcentaje a las categorías de impacto analizadas. Las emisiones al agua influyen en un 85% en la categoría de impacto eutrofización del agua dulce; esto se debe al exceso de nutrientes que se emiten, 72 t de fósforo equivalente (kg Peq), por el uso de productos de limpieza, los residuos urbanos, excremento, entre otros.

Los materiales de construcción generan 11.3 kt CO<sub>2</sub>eq y es el tercer proceso que genera mayores emisiones de GEI, puesto que genera el 11% de estas en el sistema de estudio. Este proceso genera mayor contribución (66%), en la categoría de impacto escasez de recursos minerales y aporta un 26% en la escasez de recursos fósiles; mientras que, en las demás categorías, influye en menos del 11%. Según el análisis de este proceso, se observa que el cemento genera el 70% de las emisiones, es decir, 8 kt CO<sub>2</sub>eq, y el acero, el 30% restante. Así también, de acuerdo con el análisis, se estima que la producción y transporte del cemento influye en más del 50% en las categorías calentamiento global, acidificación terrestre y escasez de recursos fósiles; y el acero, en las demás categorías.

Se determina también, que el proceso alimentos es el segundo grupo mayor emisor de GEI en el sistema de estudio, con un 20%. Cabe resaltar en este punto que para contabilizar las emisiones totales de GEI se emplea bibliografía adicional, puesto que no todos los alimentos se han considerado en el modelado por no encontrarse en la base de datos del software SimaPro, Ecoinvent 3.6. Así, se consideran las emisiones de GEI del 97.3% de alimentos respecto del total de la canasta básica per cápita anual; de este porcentaje considerado, el 82% se encuentra en la base de datos Ecoinvent 3.6 y el porcentaje restante se ha tomado de otras referencias. De esta manera, se estima que el total de emisiones generadas por la dieta alimentaria en la ciudad de Huancavelica, Perú, es de 20.4 kt CO<sub>2</sub>eq. Las categorías de alimentos con mayor porcentaje de contribución al calentamiento global son las carnes (37%), los cereales y productos de panadería (17%), y los productos lácteos (10%), como se observa en la Figura 27. De aquí que estas tres categorías de alimentos son los principales contribuyentes a las categorías de impacto calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación terrestre y toxicidad humana no cancerígena (donde la carne influye en 91%). Mientras que el aceite vegetal influye en 46% en la eutrofización de agua dulce, seguido de los cereales y productos de panadería, con 20%. (Ver Figura E5 del Anexo E). Así también, en la Tabla E1 del Anexo E, se muestran



las emisiones por categorías de alimentos totales y las emisiones por kg de cada producto considerado en el proceso alimentos.

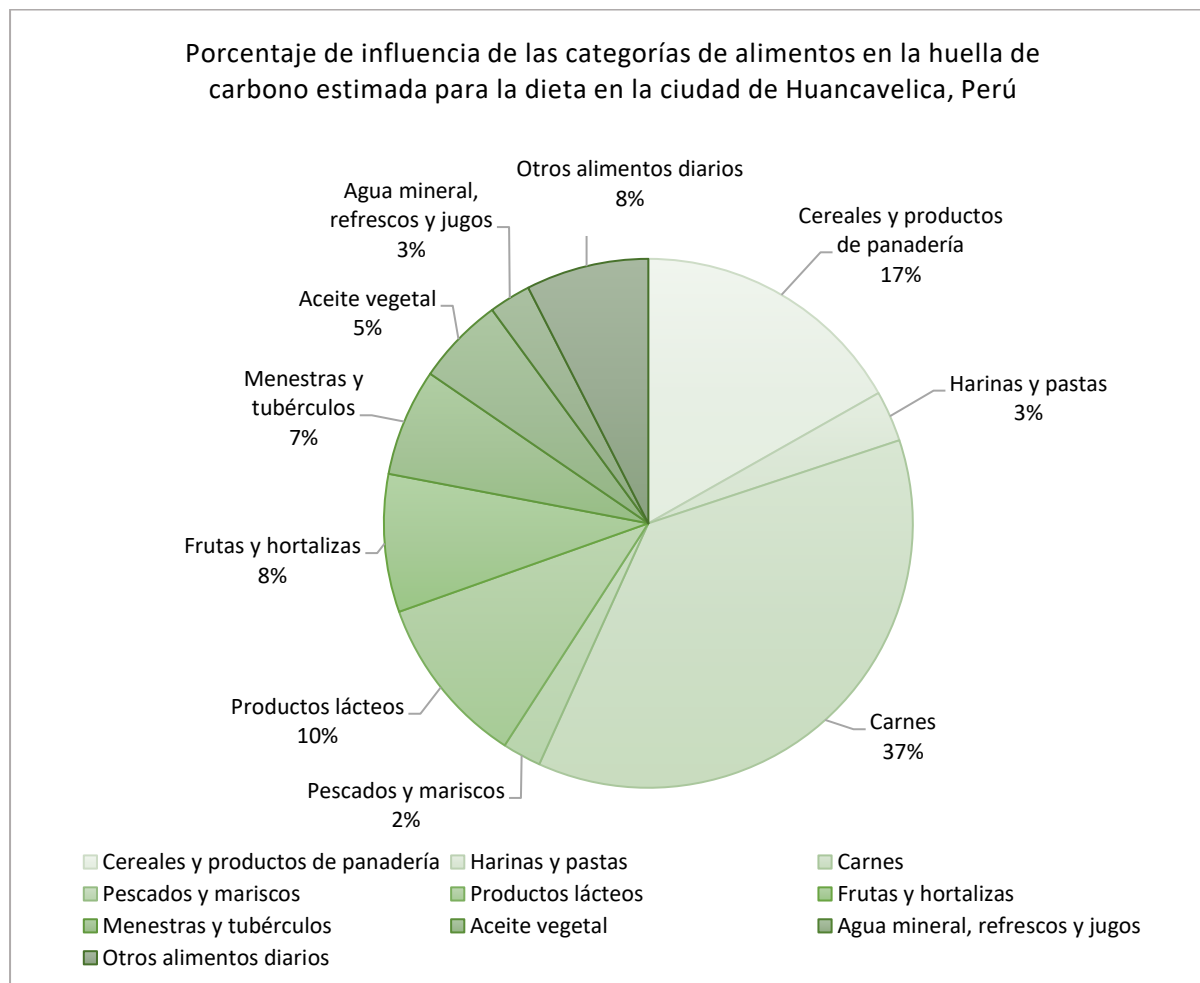
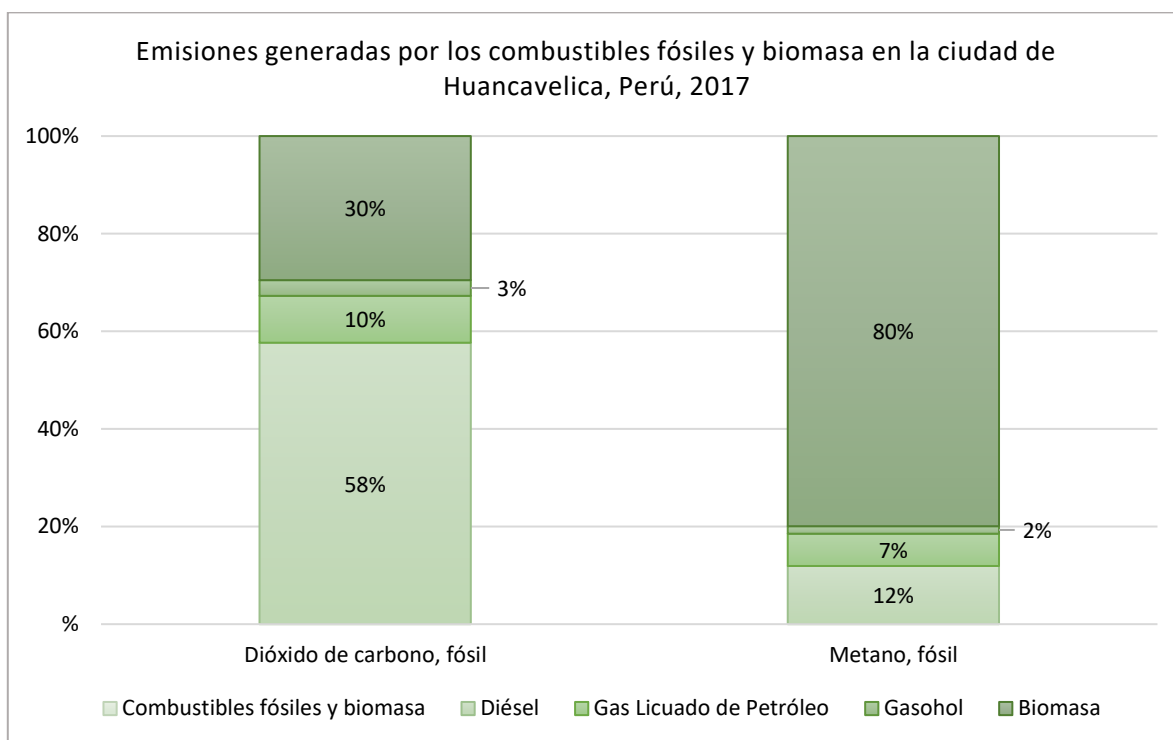


Figura 27. Porcentaje de influencia de las categorías de alimentos en la huella de carbono estimada para la dieta de la población en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017.

Finalmente, el principal proceso generador de huella de carbono en la ciudad de estudio es la quema de combustibles fósiles y biomasa a fin de generar energía para el transporte y cocción de alimentos, principalmente, con un 59% de contribución. Es decir, los combustibles fósiles y biomasa emiten 64 kt CO<sub>2</sub>eq en la ciudad de estudio. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>) son los GEI más emitidos al medio ambiente, generan prácticamente la totalidad de emisiones con 97% y 2% respectivamente. Se analiza el proceso en sí mismo, con el método IPCC 2013, para estimar cuáles son los productos con mayor porcentaje de influencia en dichas emisiones. Así, se determina que el diésel es el mayor contribuyente con el 56% de emisiones, mientras que la biomasa y el gas licuado de petróleo aportan 31% y 10%, en ese orden. Adicionalmente, en la Figura 28 se muestra el aporte porcentual de los productos considerados en los combustibles fósiles y biomasa respecto de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en

el sistema. Por otro lado, respecto al análisis de impacto con el método ReCiPe 2016, como se muestra en la Figura E7 del Anexo E, la biomasa es la causa principal de todas las categorías de impacto que se estudian en el presente documento. Es importante resaltar en este punto, que, en el presente estudio, se consideran las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la quema de biomasa; sin embargo, es posible que otros evaluadores consideren no considerar las emisiones de CO<sub>2</sub> biogénico, por formar parte del ciclo del carbono.



*Figura 28.* Distribución porcentual de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) generadas por los combustibles fósiles y biomasa en la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017 obtenido con el método IPCC 2013 100a.

## 6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Respecto al consumo de agua potable, el consumo diario per cápita en la ciudad de estudio es 144 litros; sin embargo, la OMS recomienda que 100 litros diarios de agua son suficientes para satisfacer necesidades de consumo e higiene. Por otro lado, el gasto promedio en alimentación de un habitante del sistema de estudio, tanto dentro como fuera del hogar, es aproximadamente el 32% respecto del ingreso monetario laboral. Respecto a los alimentos consumidos dentro del hogar, un habitante de la ciudad consume 452 kilogramos en el año. Según un estudio realizado por Vázquez y colegas (2017), la cantidad diaria promedio de calorías que consume una persona en la ciudad de Huancavelica es 2 306, incluye alimentación dentro y fuera de hogar. Este valor es mayor a la cantidad diaria de calorías y energía necesaria que debe consumir una persona, 2 250 establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). En cuanto a los combustibles fósiles y biomasa, el 50% de la población, a nivel regional, utiliza la leña como medio para la cocción de sus alimentos, lo cual genera tanto emisiones de GEI a la atmósfera como daños importantes en la salud de la población que los usa. Mientras que, el 35% de la población emplea balones de gas (GLP) en sus cocinas. Las centrales hidroeléctricas son las principales fuentes renovables generadoras de energía eléctrica en Huancavelica, lo cual contribuye con la mitigación de las emisiones de GEI por la quema de combustibles fósiles para la generación de energía.

El gran crecimiento desordenado en las ciudades y la necesidad de vivienda de esta población ha generado la depredación de los ecosistemas urbanos y la saturación de espacios. Esto produce la mayor acumulación de calor, dióxido de carbono y otros GEI en la atmósfera. Las áreas verdes son capaces de mitigar las emisiones por lo que su existencia en las zonas urbanas es de gran importancia. En Huancavelica, la dotación de espacios verdes públicos es de 0.9 m<sup>2</sup> por habitante, valor extremadamente preocupante con respecto al área verde por habitante recomendada por la OMS (9 m<sup>2</sup>) y por la ONU (16 m<sup>2</sup>). Este problema deficitario se presenta en gran porcentaje de las ciudades peruanas debido, además de la deforestación, al alto costo de mantenimiento que requieren las áreas verdes.

Para el análisis de la carga ambiental de la ciudad de Huancavelica, en este estudio se han seleccionado siete categorías de impacto a fin de analizar la contribución de las actividades metabólicas en cada una de estas. Las categorías consideradas son: calentamiento global,

agotamiento del ozono estratosférico, acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce, toxicidad humana no cancerígena, escasez de recursos minerales y escasez de recursos fósiles. En el caso de los alimentos, los productos que no se han encontrado en la base de datos del software SimaPro, han sido estimados a partir de bibliografía adicional. De esta manera, los combustibles fósiles y biomasa son los responsables principales del calentamiento global puesto que contribuyen con el 60% de las emisiones de kg CO<sub>2</sub>eq; mientras que los alimentos, con el 19%. Adicionalmente, los alimentos son responsables del 95% de emisiones de kg CFC-11, los cuales impactan en el agotamiento del ozono estratosférico al liberar átomos de cloro. La acidificación terrestre es generada en mayor porcentaje (57%) por los alimentos, por emisiones de kg SO<sub>2</sub>eq; mientras que las emisiones al agua son los principales emisores de kg P-eq, con 85%, los cuales generan la eutrofización de agua dulce. Los alimentos influyen en el 92% de las emisiones de kg 1.4-DCB, que genera la toxicidad humana no cancerígena. La escasez de los recursos minerales se debe, en gran porcentaje, a los materiales de construcción (66%); mientras que la escasez de recursos fósiles se debe principalmente (33%) a los combustibles fósiles y biomasa. La huella de carbono en la ciudad de Huancavelica estimada para el año 2017 es 106.34 kt CO<sub>2</sub>eq.

## **6.2. Recomendaciones**

En las ciudades peruanas habita, aproximadamente, el 78% del total de población nacional, por lo que el rápido crecimiento y la deficiente planificación han generado el desarrollo urbano insostenible. El gran porcentaje de viviendas autoconstruidas, el crecimiento informal, el transporte caótico y contaminante, el ineficiente manejo de desechos, la depredación de ecosistemas urbanos, la contaminación de fuentes naturales, entre otros, caracterizan a las ciudades insostenibles. Así, la réplica del estudio del metabolismo urbano en otras ciudades a nivel nacional es de gran utilidad para la toma de decisiones de desarrollo económico y social compatible con el desarrollo sostenible que urge en Perú. También, se recomienda la combinación de metodologías en este tipo de estudios con la finalidad de entender mejor el funcionamiento de la ciudad y los impactos en economía, sociedad y ambiente que genera el ser humano que habita en las áreas urbanas.

En el presente trabajo de investigación, una de las principales limitaciones es la recolección de información en cuanto a cantidad y calidad. Esto se debe a que no existe una base de datos por parte de las autoridades responsables de la toma de decisiones en su jurisdicción. Por esto, la información respecto a los parámetros analizados se obtuvo de cada

una de las empresas suministradoras de servicios en la ciudad. Esta información, sin embargo, no está actualizada en muchos casos, por lo que se tuvo que estimar, y escalar en otros casos, a partir de información distrital, regional y nacional. Así, se recomienda que las autoridades encargadas de la planificación y gestión de las ciudades cuenten con un sistema integrado de información acerca de la producción, consumo, entre otros, de los indicadores de las principales actividades que se desarrollan en estas. De esta manera, se busca que los formuladores de políticas públicas puedan entender el funcionamiento de sus ciudades y apliquen estrategias adecuadas, con base en las necesidades específicas del área y la población.

No existe un registro confiable de la cantidad de agua que ingresa a las plantas de tratamiento de agua potable que abastecen a la ciudad de Huancavelica. La empresa suministradora del recurso hídrico financiará, con recursos propios, la adquisición e instalación de un medidor ultrasónico en cada una de las dos plantas. El municipio responsable debe verificar la instalación de dichos medidores puesto que es importante tener un registro de entrada del recurso. Asimismo, es importante que las autoridades responsables, en conjunto con la EPS, realicen campañas de concientización sobre el consumo y manejo responsable del agua puesto que se han reportado grandes pérdidas por el uso ineficiente del mismo. Es vital que la población reconozca que el agua es un recurso limitado y que el cambio climático lo está haciendo aún más escaso. Es fundamental realizar el estudio detallado sobre las condiciones del suelo y agua en la cuenca del río Ichu para determinar si existe presencia de materiales pesados producto de la actividad minera. Asimismo, se deben tomar acciones con respecto a la agricultura y ganadería que han generado la pérdida de la vegetación en la cuenca del río, lo que pone en riesgo el caudal del río en épocas de estiaje y produce la turbiedad del agua en épocas de avenida (GRT, 2018).

Es recomendable, según la ONU (2015), invertir en agricultores de pequeña escala, tanto hombres como mujeres. De esta manera, se garantiza la seguridad alimentaria y nutrición para los más pobres; así como la producción sostenible y abastecimiento del mercado local. Las autoridades deben velar por el crecimiento económico compatible con el desarrollo sostenible con la finalidad de incrementar el ingreso monetario de los habitantes, lo cual influiría de manera positiva en el gasto por alimentación per cápita. Así mismo, el Municipio, en conjunto con el Estado Peruano, debe realizar campañas que promuevan la alimentación sana, nutritiva y suficiente con el propósito de disminuir la tasa de desnutrición que presenta la ciudad.

Se recomienda incrementar el uso de gas natural en reemplazo de gas licuado de petróleo y otros combustibles contaminantes debido a que se contribuye con la reducción de las

emisiones de dióxido de carbono y otros GEI. Además, se genera ahorro económico y la prevención de los impactos negativos en la salud humana. La información sobre el transporte urbano es muy escasa a nivel nacional por lo que se sugiere implementar un sistema de base de datos relevante para este sector. De esta manera, se puede realizar la evaluación de soluciones correspondientes a la problemática que se puedan observar. La vía terrestre es el principal medio de transporte en Huancavelica, para lo cual es importante completar la construcción de las redes vecinales, departamentales y nacionales. La meta de los ODS es, al 2030, abastecer de energía eléctrica al total de población. La energía eléctrica es un parámetro importante para el crecimiento económico. También, deben continuar las campañas que realiza la empresa suministradora para concientizar a la población con respecto al consumo responsable de energía eléctrica, sobre todo en las horas de tráfico eléctrico (entre las 18 y 23 horas del día).

La ONU recomienda, como meta de los ODS, implementar la infraestructura sostenible a fin de mejorar el bienestar humano y generar puestos de trabajo en la población. Se sugiere que la municipalidad realice charlas de orientación técnica en cuanto a la construcción básica de viviendas a fin de evitar el consumo excesivo de materiales de construcción y promover la construcción de viviendas seguras para la población. Con respecto a los espacios verdes públicos, es importante que la municipalidad planifique y gestione eficientemente la creación y recuperación de espacios libres a fin de mejorar el bienestar humano.

Al conocer la huella de carbono que se emite en la ciudad de estudio, es posible que las autoridades responsables apliquen estrategias eficientes a fin de reducir las emisiones de GEI que contribuyen con el calentamiento global. Si bien es cierto que el calentamiento global es un hecho y es inevitable, los esfuerzos internacionales son por disminuir las nuevas emisiones y mantener estables las concentraciones actuales de GEI en la atmósfera. Esto a fin de que los ecosistemas logren un proceso de adaptación al cambio climático en un plazo suficiente y de manera natural, sin que se arriesgue la producción de alimentos y el crecimiento económico sostenible no se vea afectado (Naciones Unidas, 1992).

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acciona, sostenibilidad para todos (2018). ¿Qué es la sostenibilidad? <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/que-es-la-sostenibilidad/>
- Agrupación de Fabricantes de Cemento en España (2018). El consumo de cemento crece en un 11% en 2017. <https://www.oficemen.com/consumo-cemento-crece-11-2017/>
- Alliance 2015 (2020). Global Hunger Index 2020 [Índice Global del Hambre 2020]. Informe Perú. <https://www.welthungerhilfe.de/fileadmin/pictures/publications/en/organization/2020-triptico-editable-final.pdf>
- Asociación de Productores de Cemento (2018). Reporte estadístico 2017. Estadísticas Nacionales. [http://www.asocem.org.pe/estadisticas-nacionales/reporte-estadistico--2017?fb\\_comment\\_id=1608557512567889\\_1637055733051400](http://www.asocem.org.pe/estadisticas-nacionales/reporte-estadistico--2017?fb_comment_id=1608557512567889_1637055733051400)
- Bartl, K. (2017). Análisis de ciclo de vida. En residuos sólidos y reciclaje. Fundamentos de Ingeniería Ambiental [Diapositiva de PowerPoint].
- Cárdenas, U. (2016). El metabolismo urbano como disciplina para determinar la sostenibilidad de ciudades [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7612>
- Céspedes J., Morales T. (2018). Urban metabolism and sustainability: Precedents, genesis and research perspectives [Metabolismo urbano y sostenibilidad: antecedentes, génesis y perspectivas de investigación]. Resources, Conservation and Recycling, volume 131, pages 216-224. [Urban metabolism and sustainability: Precedents, genesis and research perspectives - ScienceDirect](#)
- Contraloría General (2019). Resultados del Operativo “Por una ciudad limpia y saludable”. N° 246-2019-CG-GCOC: Contraloría advierte riesgos en el servicio de limpieza pública de 16 municipalidades de Huancavelica. [Portal de la Contraloría General de la República del Perú \(contraloria.gob.pe\)](#)
- Comisión de Ambiente y Ecología (2020). ¿Quiénes somos? Congreso de la República del Perú. <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/2004/ambiente/quienes.htm>
- D’Amico G., Taddeo R., Shi L., Yigitcanlar T., Ioppolo G. (2020). Ecological indicators of smart urban metabolism: A review of literature on international standards [Indicadores ecológicos del metabolismo urbano inteligente: una revisión de la literatura sobre estándares internacionales]. [Ecological indicators of smart urban metabolism: A review of the literature on international standards - ScienceDirect](#)

- Diario Correo (2015). Río Ichu, desprotegido de la contaminación. [Río Ichu, desprotegido de la contaminación | PERU | CORREO \(diariocorreo.pe\)](http://www.diariocorreo.pe/contaminacion/PERU/CORREO)
- Díaz, C. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de ciudades. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/46524/41776>
- Diem, G. (2018). Sustainable development [Desarrollo sostenible]. Salem Press Encyclopedia. [https://pucp.ent.sirsi.net/client/es\\_ES/campus/search/edsdetailnonmodal/eds:\\$002f\\$002f-2144649184\\$002f0\\$002fers\\$007c\\$007c89474467?qu=TITLE%3D%22Sustainable+development%22&qu=AUTHOR%3DDiem&qf=LANGUAGE%09Idioma%09ENG%09Ingl%C3%A9s&d=eds%3A%2F%2F-2144649184%2F0%2Fers%7C%7C89474467%7E-2144649184%7E0](https://pucp.ent.sirsi.net/client/es_ES/campus/search/edsdetailnonmodal/eds:$002f$002f-2144649184$002f0$002fers$007c$007c89474467?qu=TITLE%3D%22Sustainable+development%22&qu=AUTHOR%3DDiem&qf=LANGUAGE%09Idioma%09ENG%09Ingl%C3%A9s&d=eds%3A%2F%2F-2144649184%2F0%2Fers%7C%7C89474467%7E-2144649184%7E0)
- Ecoinvent (2020). Why ecoinvent [¿Por qué Ecoinvent?] <https://www.ecoinvent.org/informaciónbase/buy-a-licence/why-ecoinvent/why-ecoinvent.html>
- Electrocentro (2018). Memoria anual 2017. [https://www.distriluz.com.pe/electrocentro/Memoria\\_Electrocentro\\_2017.pdf](https://www.distriluz.com.pe/electrocentro/Memoria_Electrocentro_2017.pdf)
- Fundación Mi Parque (2012). La gran diferencia de m<sup>2</sup> de áreas verde por persona en Latinoamérica. <https://www.miparque.cl/la-gran-diferencia-de-m2-de-areas-verde-por-persona-en-latinoamerica/>
- García-Guaita, F., González-García, S., Villanueva-Rey, P., Moreira, M. y Feijoo, G. (2018). Integrating Urban Metabolism, Material Flow Analysis and Life Cycle Assessment in the environment evaluation of Santiago de Compostela [Integrando el Metabolismo Urbano, Análisis de Flujo de Materiales y Análisis de Ciclo de Vida en la evaluación ambiental de Santiago de Compostela]. Sustainable Cities and Society. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717317559?via%3Dihub>
- Gerencia de Regulación Tarifaria (2018). Estudio tarifario EPS Huancavelica. EPS EMAPA Huancavelica S.A. [http://www.emapahvca.com/muni.php/ver\\_documento/id/munihvca3254088f7936ab7965c8b0bb0a3589b7.pdf/](http://www.emapahvca.com/muni.php/ver_documento/id/munihvca3254088f7936ab7965c8b0bb0a3589b7.pdf/)
- Gobierno Regional de Huancavelica (2005). Plan vial departamental participativo de Huancavelica 2006 - 2015. [http://www.regionhuancavelica.gob.pe/descargas/upload/DOCUMENTOS%20DE%20GESTION/Planes%20Regionales/2585634\\_plan\\_vial\\_participativo.pdf](http://www.regionhuancavelica.gob.pe/descargas/upload/DOCUMENTOS%20DE%20GESTION/Planes%20Regionales/2585634_plan_vial_participativo.pdf)



- Gómez, C. (2014). El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. Cambio climático y desarrollo sostenible, bases conceptuales para la educación en Cuba (pp. 91-111). Educación Cubana. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Instituto Metropolitano de Planificación (2010). Inventario de áreas verdes a nivel metropolitano. <https://www.urbanistasperu.org/imp/inventariodeareasverdes/PDF/Inventario%20de%20Areas%20Verdes%20a%20nivel%20Metropolitano.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2007). Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2012). Perú: Consumo per cápita de los principales alimentos 2008-2009. Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018a). Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017 del departamento de Huancavelica. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1569/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1569/)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018b). Producción y venta de barras de construcción [Archivo Excel]. En Construcción, Estadísticas Sectoriales. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/sector-statistics/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018c). Venta local de cemento por empresa, según departamento [Archivo Excel]. En Construcción, Estadísticas Sectoriales. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/sector-statistics/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018d). Evolución del gasto e ingreso. Perú: perfil de la pobreza por dominios geográficos 2007 - 2017. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1585/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1585/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018e). Cuadro N° 1.4: Evolución del gasto real promedio per cápita mensual, por variación porcentual, diferencia absoluta y test de significancia, según ámbitos geográficos y 12 grupos de gastos (CCIF), 2007-2017. Anexo Estadístico de Perú: perfil de la pobreza por dominios geográficos 2007 - 2017. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1533/anexo.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1533/anexo.html)

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018f). Cuadro N° 1.5: Porcentaje de la evolución del gasto real promedio per cápita mensual, según ámbitos geográficos y 12 grupos de gastos (CCIF), 2007-2017. Anexo Estadístico de Perú: perfil de la pobreza por dominios geográficos 2007 - 2017. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1533/anexo.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1533/anexo.html)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019). Calidad del aire. En Calidad ambiental. Perú: Anuario de estadísticas ambientales. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf)
- Instituto Peruano De Economía (2017). Informe sobre desarrollo humano. Índice de desarrollo humano. <https://www.ipe.org.pe/portal/indice-de-desarrollo-humano/>
- International Organization for Standardization (2006). Análisis de ciclo de vida. Gestión ambiental. ISO 14040:2006. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- International Society for Industrial Ecology (20 de abril de 2018). Open Material Flow Analysis with STAN [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=RxmGyGbpvgo>
- Kahhat, R. (2019). Sostenibilidad. Herramientas para ingeniería sostenible y análisis de riesgos de desastres. Escuela de Posgrado. [Diapositiva de PowerPoint].
- Kennedy, C., Pincetl, S. y Bunje, P. (2010). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design [El estudio del metabolismo urbano y sus aplicaciones en la planificación y el diseño urbano]. Environmental Pollution. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749110004781>
- LA Network (10 de marzo de 2021). ¿Por qué es importante que una ciudad tenga zonas verdes? Hábitad y Desarrollo Urbano <https://la.network/por-que-es-importante-que-una-ciudad-tenga-zonas-verdes/>
- Laner D., Rechberger H., (2016). Material Flow Analysis. Springer, Dordrecht. [https://pucp.ent.sirsi.net/client/es\\_ES/campus/search/edsdetailnonmodal/eds:\\$002f\\$002f-2144649184\\$002f0\\$002fedssjb\\$007c\\$007cedssjb.978.94.017.7610.3.7?qu=TITLE%3DMaterial+Flow+Analysis&qu=AUTHOR%3DLaner&d=eds%3A%2F%2F-2144649184%2F0%2Fedssjb%7C%7Cedssjb.978.94.017.7610.3.7%7E-2144649184%7E6](https://pucp.ent.sirsi.net/client/es_ES/campus/search/edsdetailnonmodal/eds:$002f$002f-2144649184$002f0$002fedssjb$007c$007cedssjb.978.94.017.7610.3.7?qu=TITLE%3DMaterial+Flow+Analysis&qu=AUTHOR%3DLaner&d=eds%3A%2F%2F-2144649184%2F0%2Fedssjb%7C%7Cedssjb.978.94.017.7610.3.7%7E-2144649184%7E6)
- Lifset R. y Graedel T. (2015). Industrial Ecology [Ecología Industrial]. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition), Elsevier, pages 843-853. [Industrial Ecology - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1546369215000000)

- Maranghi, S., Parisi M., Facchini A., Rubino A., Kordas O. y Basosi R. (2020). Integrating urban metabolism and life cycle assessment to analyse urban sustainability [Integración de metabolismo urbano y evaluación de ciclo de vida para analizar la sostenibilidad urbana]. Ecological indicators, volumen 112. [Integrating urban metabolism and life cycle assessment to analyse urban sustainability - ScienceDirect](#)
- Ministerio del Ambiente (2015a). Aire. Estudio de Desempeño Ambiental 2003 - 2013. [http://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/estudio\\_de-desempeno\\_ambiental\\_esda\\_2016.pdf](http://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/estudio_de-desempeno_ambiental_esda_2016.pdf)
- Ministerio del Ambiente (2015b). Informe anual de residuos sólidos en Huancavelica. Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos. <http://sigersol.minam.gob.pe/2015/verInforme.php?id=792>
- Ministerio del Ambiente (2016a). Guía N°4: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Desechos, Categoría: Disposición de Residuos Sólidos. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-ndeg-4elaboracion-reporte-anual-gases-efecto-invernadero-sector>
- Ministerio del Ambiente (2016b). Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 - 2014. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12034/informe\\_nacional\\_calidad\\_del\\_aire\\_2013-2014.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12034/informe_nacional_calidad_del_aire_2013-2014.pdf)
- Ministerio del Ambiente (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 003-2017- MINAM. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones-1>
- Ministerio del Ambiente (2018). Superficie de área verde urbana por habitante. En Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/indicadores/superficie-area-verde-urbana-habitante>
- Ministerio del Ambiente (2019). ¿Qué hacemos? Plataforma digital única del Estado. <https://www.gob.pe/732-ministerio-del-ambiente-que-hacemos>
- Ministerio del Ambiente (2020a). Indicador: superficie de área verde urbana por habitante. Sistema de Información Ambiental Regional. <http://siar.minam.gob.pe/tumbes/indicador/998>
- Ministerio del Ambiente (2020b). Perú apuesta por un futuro sin emisiones de carbono. Plataforma digital única del Estado. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/127519-peru-apuesta-por-un-futuro-sin-emisiones-de-carbono>

- Ministerio del Ambiente (2020c). Programa de adecuación y manejo ambiental. Legislación Ambiental. [http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=523&Itemid=4356](http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=523&Itemid=4356)
- Ministerio de Energía y Minas (2018a). Anuario estadístico de electricidad 2017. <http://www.minem.gob.pe/estadistica.php?idSector=6&idEstadistica=13034>
- Ministerio de Energía y Minas (2018b). Balance nacional de energía 2017. <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=591>
- Ministerio de Energía y Minas (2018c). Masificación del gas natural. Anuario estadístico 2017, sector hidrocarburos. <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=5&idPublicacion=580>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). Anuario Estadístico 2017. [http://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/publicaciones/anuarios/ANUARIO\\_ESTADISTICO\\_2017.pdf](http://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/publicaciones/anuarios/ANUARIO_ESTADISTICO_2017.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones (DS N° 011-2006-VIVIENDA). [RNE Actualizado Solo Saneamiento.pdf \(vivienda.gob.pe\)](http://www.vivienda.gob.pe/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf)
- Morales, F. (2002). El desarrollo sostenible en el Perú y la Comisión de Ambiente y Ecología. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 5 (10), 80-82. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v05\\_n10/desa\\_soste.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v05_n10/desa_soste.htm)
- Municipalidad Provincial de Huancavelica (2015). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos en la provincia de Huancavelica. <http://siar.regionhuancavelica.gob.pe/download/file/fid/46593>
- Municipalidad Provincial de Huancavelica (2016). Estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales, Huancavelica 2016. <http://www.munihuancavelica.gob.pe/ess/documentos/pigars/estudio2016.pdf>
- Naciones Unidas (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Naciones Unidas en el Perú (2020). Acerca de nuestro trabajo para los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Perú. <http://onu.org.pe/ods/>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Organización de las Naciones Unidas (2015). 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Organización Mundial de la Salud (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf;jsessionid=99F7CAED1D4B3565F88378423F87299F?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=99F7CAED1D4B3565F88378423F87299F?sequence=1)

Osinermin (2020). Demanda nacional de combustibles líquidos, diésel, GLP y GLP automotor por departamentos. Sistema de Control de Órdenes de Pedido - Documentos.

[https://www.osinermin.gob.pe/empresas/hidrocarburos/Paginas/SCOP-DOCS/scop\\_docs.htm](https://www.osinermin.gob.pe/empresas/hidrocarburos/Paginas/SCOP-DOCS/scop_docs.htm)

PERIFERIA, WWF Perú (2019). Ciudades del Perú: Primer Reporte Nacional de Indicadores Urbanos 2018. PERIFERIA, Territorios Vivos.

[https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/ciudades\\_sostenibles\\_1.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/ciudades_sostenibles_1.pdf)

Perroti, D. (2020). Chapter 2 - Urban metabolism: old challenges, new frontiers, and the research agenda ahead [Capítulo 2 - Metabolismo urbano: viejos desafíos, nuevas fronteras y la agenda de investigación por delante]. Urban Ecology, Elsevier, pages 17-32. [Urban metabolism: old challenges, new frontiers, and the research agenda ahead - ScienceDirect](#)

Perú Construye (2020). Mercado del ladrillo: “Una lucha imparables contra la informalidad”.

<https://peruconstruye.net/2019/11/14/mercado-del-ladrillo-una-lucha-imparable-contra-la-informalidad/>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2013). Índice de Desarrollo Humano. En Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013. [IDHPeru2013 | El PNUD en Perú \(undp.org\)](#)

Red eléctrica de España (2018). El sistema eléctrico español en 2017.

[https://www.ree.es/sites/default/files/Presentacion\\_El\\_sistema\\_electrico\\_espanol\\_en\\_2017.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/Presentacion_El_sistema_electrico_espanol_en_2017.pdf)

Red Peruana de Ciclo de Vida (2020). Proyecto IKI PNUMA – Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para una economía baja en carbono en economías de ingresos medios y nuevos países industrializados (Advance SCP).

<https://red.pucp.edu.pe/ciclodevida/proyecto/proyecto-iki-pnuma/>

Sahely, H., Dudding, S., and Kennedy, C. (2003). Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study. Canadian Journal of Civil Engineering, 30 (2), 468-483.

<https://doi.org/10.1139/102-105>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020a). Datos hidrometeorológicos en Huancavelica. Datos. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=huancavelica&p=estaciones>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020b). Mapa climático del Perú. Clima. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=huancavelica&p=mapa-climatico-del-peru>
- SimaPro (2019). SimaPro información base Manual [Manual de la base de datos SimaPro]. En Manuales de datos del software SimaPro. SimaPro (2020). About SimaPro [Acerca de SimaPro]. <https://simapro.com/about/> Technische Universität Wien (2012). About Stan [Acerca de Stan]. Stan2web. <http://www.stan2web.net/infos/about-stan>
- Torre, A. (2018). Diseño y análisis ambiental de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Huaraz [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13033>
- United Nations Development Programme (2020). Human Development Reports [Reportes de Desarrollo Humano]. [Human Development Reports \(undp.org\)](http://www.undp.org/)
- Vázquez-Rowe I., Larrea-Gallegos G., Villanueva-Rey P., Gilardino A. (2017). Climate change mitigation opportunities based on carbon footprint estimates of dietary patterns in Peru [Oportunidades de mitigación del cambio climático basadas estimaciones de la huella de carbono de los patrones dietéticos en Perú]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188182>

## Anexo A

Tabla A1.

*Consumo per cápita anual de los principales alimentos en la ciudad de Huancavelica, 2008-2009.*

| Principales productos alimenticios | Unidad/año | 2008-2009    | Precio unitario (S./) | Precio total (S./) /2017 |
|------------------------------------|------------|--------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Cereales</b>                    |            |              |                       |                          |
| Arroz                              | kg         | 35.30        | 2.57                  | 90.72                    |
| Maíz                               | kg         | 4.30         | 4.69                  | 20.17                    |
| Trigo y similares (morón)          | kg         | 4.70         | 3.66                  | 17.20                    |
| Avena y similares                  | kg         | 3.30         | 9.68                  | 31.94                    |
| Cebada                             | kg         | 1.40         | 1.63                  | 2.28                     |
| Otros cereales 1/                  | kg         | 0.70         | -                     | -                        |
| <b>Total</b>                       |            | <b>49.70</b> |                       | <b>162.32</b>            |
| <b>Harinas</b>                     |            |              |                       |                          |
| Harina de trigo                    | kg         | 3.00         | 4.48                  | 13.44                    |
| Harina de otros cereales 2/        | kg         | 1.20         | -                     | -                        |
| Harina de menestras 3/             | kg         | 0.70         | 4.18                  | 2.93                     |
| <b>Total</b>                       |            | <b>4.90</b>  |                       | <b>16.37</b>             |
| <b>Productos de panadería</b>      |            |              |                       |                          |
| Pan                                | kg         | 25.30        | 6.56                  | 165.97                   |
| Galletas                           | kg         | 2.20         | 14.48                 | 31.86                    |
| Pasteles y tortas                  | kg         | 1.20         | 14.48                 | 17.38                    |
| <b>Total</b>                       |            | <b>28.70</b> |                       | <b>215.20</b>            |
| <b>Pastas</b>                      |            |              |                       |                          |
| Fideos secos                       | kg         | 16.20        | 4.87                  | 78.89                    |
| <b>Total</b>                       |            | <b>16.20</b> |                       | <b>78.89</b>             |
| <b>Carnes</b>                      |            |              |                       |                          |
| Carne de carnero                   | kg         | 4.40         | 18.43                 | 81.09                    |
| Carne de cerdo                     | kg         | 0.40         | 16.11                 | 6.44                     |
| Carne de vacuno                    | kg         | 1.70         | 25.64                 | 43.59                    |
| Carnes varias 4/                   | kg         | 11.40        | -                     | -                        |
| Carne de otras aves 5/             | kg         | 0.10         | 8.35                  | 0.84                     |
| Gallina                            | kg         | 0.10         | 17.84                 | 1.78                     |
| Pollo                              | kg         | 11.80        | 8.35                  | 98.53                    |

|                      |    |              |       |               |
|----------------------|----|--------------|-------|---------------|
| Menudencia de ave 6/ | kg | 3.90         | 25.64 | 100.00        |
| Aves de corral       | kg | 0.10         | 8.35  | 0.84          |
| <b>Total</b>         |    | <b>33.90</b> |       | <b>333.10</b> |

#### **Pescados y mariscos**

|                                |    |             |      |              |
|--------------------------------|----|-------------|------|--------------|
| Pescado de mar                 | kg | 4.00        | 8.99 | 35.96        |
| Pescado de río                 | kg | 0.70        | 8.87 | 6.21         |
| Pescado y mariscos en conserva | kg | 1.10        | 5.78 | 6.36         |
| <b>Total</b>                   |    | <b>5.80</b> |      | <b>48.53</b> |

#### **Productos lácteos**

|                                 |    |              |       |               |
|---------------------------------|----|--------------|-------|---------------|
| Leche fresca                    | L  | 2.80         | 3.78  | 10.58         |
| Leche fresca pasteurizada y UHT | L  | 0.20         | 3.50  | 0.70          |
| Leche evaporada                 | L  | 9.80         | 2.99  | 29.30         |
| Yogurt                          | L  | 3.40         | 2.10  | 7.14          |
| Queso fresco                    | kg | 3.70         | 16.02 | 59.27         |
| <b>Total</b>                    |    | <b>19.90</b> |       | <b>107.00</b> |

#### **Huevos**

|               |    |             |      |              |
|---------------|----|-------------|------|--------------|
| Huevos de ave | kg | 6.90        | 5.73 | 39.54        |
| <b>Total</b>  |    | <b>6.90</b> |      | <b>39.54</b> |

#### **Aceites y grasas**

|                |    |             |      |              |
|----------------|----|-------------|------|--------------|
| Aceite vegetal | L  | 5.30        | 5.00 | 26.50        |
| Margarina      | kg | 0.40        | 8.66 | 3.46         |
| <b>Total</b>   |    | <b>5.70</b> |      | <b>29.96</b> |

#### **Frutas**

|           |    |       |      |       |
|-----------|----|-------|------|-------|
| Limón     | kg | 2.20  | 3.76 | 8.27  |
| Mandarina | kg | 9.50  | 3.37 | 32.02 |
| Naranja   | kg | 12.30 | 5.90 | 72.57 |
| Duraznos  | kg | 0.60  | 4.59 | 2.75  |
| Manzana   | kg | 11.60 | 3.00 | 34.80 |
| Palta     | kg | 1.30  | 6.82 | 8.87  |
| Papaya    | kg | 3.10  | 3.26 | 10.11 |
| Plátano   | kg | 14.90 | 3.15 | 46.94 |
| Uva       | kg | 5.30  | 4.45 | 23.59 |
| Fresa     | kg | 0.20  | 6.30 | 1.26  |
| Mango     | kg | 3.20  | 5.81 | 18.59 |



|              |    |              |      |               |
|--------------|----|--------------|------|---------------|
| Sandía       | kg | 0.40         | 2.10 | 0.84          |
| <b>Total</b> |    | <b>64.60</b> |      | <b>260.60</b> |

### Hortalizas

|              |    |              |       |               |
|--------------|----|--------------|-------|---------------|
| Apio         | kg | 3.70         | 2.42  | 8.95          |
| Lechuga      | kg | 1.90         | 0.50  | 0.95          |
| Coles        | kg | 3.20         | 1.10  | 3.52          |
| Ají entero   | kg | 0.90         | 14.02 | 12.62         |
| Tomate       | kg | 7.20         | 3.52  | 25.34         |
| Zapallo      | kg | 10.10        | 2.26  | 22.83         |
| Choclo       | kg | 2.80         | 6.41  | 17.95         |
| Calabaza     | kg | 0.10         | 4.30  | 0.43          |
| Ajo entero   | kg | 0.70         | 8.60  | 6.02          |
| Cebolla      | kg | 9.80         | 2.47  | 24.21         |
| Zanahoria    | kg | 16.30        | 2.28  | 37.16         |
| <b>Total</b> |    | <b>56.70</b> |       | <b>159.98</b> |

### Menestras

|                         |    |             |       |              |
|-------------------------|----|-------------|-------|--------------|
| Frejol                  | kg | 0.60        | 10.62 | 6.37         |
| Alverja (fresca y seca) | kg | 4.70        | 5.03  | 23.64        |
| Habas (fresca y seca)   | kg | 1.90        | 5.03  | 9.56         |
| Lenteja                 | kg | 2.60        | 7.89  | 20.51        |
| <b>Total</b>            |    | <b>9.80</b> |       | <b>60.08</b> |

### Tubérculos y derivados

|                     |    |              |      |               |
|---------------------|----|--------------|------|---------------|
| Camote              | kg | 3.00         | 2.16 | 6.48          |
| Papa                | kg | 87.80        | 3.10 | 272.18        |
| Yuca                | kg | 0.90         | 2.31 | 2.08          |
| Olluco              | kg | 2.40         | 3.80 | 9.12          |
| Chuño entero        | kg | 0.90         | 3.37 | 3.03          |
| Otros tubérculos 7/ | kg | 0.30         | -    | -             |
| <b>Total</b>        |    | <b>95.30</b> |      | <b>292.89</b> |

### Azúcar

|                 |    |              |      |              |
|-----------------|----|--------------|------|--------------|
| Azúcar refinada | kg | 21.20        | 4.50 | 95.40        |
| <b>Total</b>    |    | <b>21.20</b> |      | <b>95.40</b> |

### Hielo

|        |    |      |      |      |
|--------|----|------|------|------|
| Helado | kg | 0.80 | 6.80 | 5.44 |
|--------|----|------|------|------|

|              |  |             |  |             |
|--------------|--|-------------|--|-------------|
| <b>Total</b> |  | <b>0.80</b> |  | <b>5.44</b> |
|--------------|--|-------------|--|-------------|

**Especies, sazonadores, postres**

|                                    |    |      |   |   |
|------------------------------------|----|------|---|---|
| Hierbas culinarias                 | kg | 1.30 | - | - |
| Especies                           | kg | 1.10 | - | - |
| Ajíes                              | kg | 2.10 | - | - |
| Comidas procesadas y preparadas 8/ | kg | 0.20 | - | - |

|              |  |             |  |  |
|--------------|--|-------------|--|--|
| <b>Total</b> |  | <b>4.70</b> |  |  |
|--------------|--|-------------|--|--|

**Agua mineral, refrescos, jugos**

|                           |   |       |      |       |
|---------------------------|---|-------|------|-------|
| Aguas minerales y de mesa | L | 1.60  | 2.00 | 3.20  |
| Gaseosas                  | L | 23.30 | 2.20 | 51.26 |
| Refrescos fluidos         | L | 2.10  | 2.20 | 4.62  |

|              |  |              |  |              |
|--------------|--|--------------|--|--------------|
| <b>Total</b> |  | <b>27.00</b> |  | <b>59.08</b> |
|--------------|--|--------------|--|--------------|

---

|                                    |           |               |            |                 |
|------------------------------------|-----------|---------------|------------|-----------------|
| <b>Total, canasta básica anual</b> | <b>kg</b> | <b>451.80</b> | <b>S/.</b> | <b>1 964.38</b> |
|------------------------------------|-----------|---------------|------------|-----------------|

---

1/ Incluye cañigua, kiwicha, quinua.

2/ Incluye harina de cebada, kiwicha, maíz, quinua, siete semillas, polenta y otros.

3/ Incluye harina de arveja, habas, soya y otras harinas de menestras.

4/ Incluye carne de alpaca, cabrito, conejo, cuy, mono, venado y otros.

5/ Incluye carne de pato, pavo, codorniz y otros.

6/ Incluye menudencia de aves, res y otros.

7/ Incluye arracacha, maca, mashua, oca, yacón.

8/ Incluye precocidos de arroz, verduras, menestras, puré instantáneo y otros.

---

Nota. Consumo per cápita anual de alimentos por principales productos alimenticios 2008-2009 en la ciudad de Huancavelica. Adoptado Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares (ENAPREF), por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012.

## Anexo B

Tabla B1:

*Concentración de constituyentes del agua residual doméstica de acuerdo con la dotación per cápita.*

| Constituyente         | Unidad      | Concentración                    |                                   |                                  |
|-----------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                       |             | Baja<br>(Q=570<br>L/persona.día) | Media<br>(Q=380<br>L/persona.día) | Alta<br>(Q=190<br>L/persona.día) |
| Sólidos totales       | mg/L        | 537                              | 806                               | 1 612                            |
| Sólidos disueltos     | mg/L        | 374                              | 560                               | 1 121                            |
| Fijos                 | mg/L        | 224                              | 336                               | 672                              |
| Volátiles             | mg/L        | 150                              | 225                               | 449                              |
| Sólidos en suspensión | mg/L        | 130                              | 195                               | 389                              |
| Fijos                 | mg/L        | 29                               | 43                                | 86                               |
| Volátiles             | mg/L        | 101                              | 152                               | 304                              |
| Sólidos sedimentables | mg/L        | 8                                | 12                                | 23                               |
| DBO <sub>5</sub>      | mg/L        | 133                              | 200                               | 400                              |
| COT                   | mg/L        | 109                              | 164                               | 328                              |
| DQO                   | mg/L        | 339                              | 508                               | 1 016                            |
| Nitrógeno             | mg/L        | 23                               | 35                                | 69                               |
| Orgánico              | mg/L        | 10                               | 14                                | 29                               |
| Libre de amoníaco     | mg/L        | 13                               | 21                                | 40                               |
| Nitritos              | mg/L        | 0                                | 0                                 | 0                                |
| Nitratos              | mg/L        | 0                                | 0                                 | 0                                |
| Fósforo               | mg/L        | 3.7                              | 5.6                               | 11                               |
| Orgánico              | mg/L        | 2.1                              | 3.2                               | 6.3                              |
| Inorgánico            | mg/L        | 1.6                              | 2.4                               | 4.7                              |
| Grasas y aceites      | mg/L        | 51                               | 76                                | 153                              |
| Coliformes totales    | No. /100 ml | 10E6 - 10E8                      | 10E7 - 10E9                       | 10E7 - 10E10                     |

|                    |             |              |              |              |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Coliformes fecales | No. /100 ml | 10E3 - 10E5  | 10E4 - 10E6  | 10E5 - 10E8  |
| Cryptosporidium    | No. /100 ml | 10E-1 - 10E1 | 10E-1 - 10E2 | 10E-1 - 10E3 |
| Giardia lamblia    | No. /100 ml | 10E-1 - 10E2 | 10E-1 - 10E3 | 10E-1 - 10E4 |

Nota. Concentraciones empleadas para la estimación de componentes de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en las descargas de aguas residuales sin tratamiento alguno al río Ichu. Adaptado de “Wastewater Engineering, treatment and resource recovery”, por Metcalf y Eddy, 2014, *Diseño y análisis ambiental de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Huaraz*, p. 46. Copyright 2018 por André Torre García.



## Anexo C

En este anexo se presenta la estimación de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) al aire por la disposición de residuos sólidos en tierra en la ciudad de Huancavelica, Perú. Para este fin, se emplea la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente (2016) en la Guía N°4 Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero – Sector Desechos, Categoría Disposición de Residuos Sólidos. El MINAM se basa en las Directrices del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de la mencionada guía.

Ecuación C1. Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) procedentes de la disposición de residuos sólidos

$$\text{Emisiones de metano (Gg/año)} = [(RSUT * L_0) - R] * (1 - OX)$$

donde:

Emisiones de CH<sub>4</sub> = metano emitido durante el año base del reporte (Gg/año)

RSU<sub>T</sub> = cantidad total de residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el año del reporte (Gg/año)

L<sub>0</sub> = potencial de generación de metano (Gg de CH<sub>4</sub>/Gg de residuos)

R = CH<sub>4</sub> recuperado (Gg/año)

OX = factor de oxidación (fracción), cero por defecto

Ecuación C2. Potencial de generación de metano (L<sub>0</sub>), el cual decrece a través del transcurso de las décadas.

$$L_0 = [FCM * COD * COD_f * F * 16/12]$$

donde:

L<sub>0</sub> = potencial de generación de metano (Gg de CH<sub>4</sub>/Gg de residuos)

FCM = factor de corrección para el metano (fracción)

COD = carbono orgánico degradable (Gg de C/Gg de residuos)

COD<sub>f</sub> = fracción de COD no asimilada

F = fracción de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero generado

16/12 = cociente de pesos moleculares CH<sub>4</sub>/C

Ecuación C3. Carbono orgánico degradable (COD), el cual se estima sobre composición de los desechos y puede calcularse a partir del promedio ponderado de carbono degradable presente en los diversos componentes.

$$COD = (0,4 * A) + (0,17 * B) + (0,15 * C) + (0,3 * D)$$

donde:

COD = carbono orgánico degradable (Gg de C/Gg de residuos)

A = fracción de residuos sólidos urbanos (RSU) – compuesto de papeles y textiles

B = fracción de residuos sólidos urbanos (RSU) – desechos de jardín

C = fracción de residuos sólidos urbanos (RSU) – compuesto de restos de alimentos

D = fracción de residuos sólidos urbanos (RSU) – compuesto de madera o paja

Así también, se consideran las incertidumbres como el factor de corrección de metano (FCM), asociada a la profundidad del sitio de disposición final de desechos y la fracción de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero generado (F), que tiene un valor por defecto equivalente a 0.5%. Asimismo, se considera que la fracción de carbono orgánico degradable no asimilada (COD<sub>f</sub>) es igual a 0.5%.

Tabla C1:

*Factor de corrección de metano (FCM), de acuerdo con el lugar de disposición final de residuos sólidos.*

| Sitio de eliminación de residuos sólidos               | Factor de Corrección de Metano (FCM) | Comentarios  |
|--|--------------------------------------|--|
| Relleno sanitario controlado                           | 1.0                                  | Colocación controlada de los residuos. Incluye: material protector de la cubierta, compactación mecánica o nivelación de desechos. |
| Botadero profundo (más de 5 metros de desechos)        | 0.8                                  | No cumplen con criterios de los lugares controlados.   |
| Botadero poco profundo (menos de 5 metros de desechos) | 0.4                                  | No cumplen con criterios de los lugares controlados.   |

Vertederos no incluidos en ninguna categoría

0.6

Cuando no es posible categorizarlos en las categorías anteriores.

---

Nota. Adaptado de Guía N°4 Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Desechos, Categoría Disposición de Residuos Sólidos, por Ministerio del Ambiente (MINAM), 2016.

A partir de la Tabla 22 se obtienen los porcentajes de papel y textiles (6.98%), residuos orgánicos (64%) y madera (0.4%). Estos se reemplazan en la Ecuación 3 y se obtiene el valor del carbono orgánico degradable (COD), el cual equivale a 0.1255 Gg C/Gg de residuos. Para determinar el potencial de generación de metano ( $L_0$ ), se toma en cuenta el factor de corrección del  $CH_4$  para vertederos no incluidos (0.6) de la Tabla B1 puesto que no se cuenta con toda la información necesaria acerca del botadero Pampachacra. Así, con la Ecuación 2 se calcula que el potencial de generación de metano ( $L_0$ ) es igual a 0.0251 Gg  $CH_4$ /Gg de residuos. Finalmente, reemplazando los datos en la Ecuación 1, se estima que la disposición de 11.5 Giga gramos anual de residuos sólidos en tierra en la ciudad de Huancavelica genera 288.4 toneladas de metano ( $CH_4$ ) al año. Adicionalmente, se conoce que el Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA), es decir, la relación entre el forzamiento radioactivo de un kilogramo de GEI emitido a la atmósfera y un kilogramo de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) a través de un periodo de tiempo, del metano es 21. Así, se determina que se emiten 6.056 Giga gramos de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ).

## Anexo D

Tabla D1.

*Descripción de los principales flujos de entrada en la ciudad de Huancavelica, estimación de consumo per cápita, escala original y fuente de datos. Población en la ciudad en el año 2017 es de 36 268 habitantes (área urbana).*

|                        | Consumo<br>estimado per<br>cápita (escala<br>local) | Consumo total<br>(escala local) | Unidades       | Escala de<br>datos original | Fuente<br>de datos |
|------------------------|---|---------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|
| <b>Agua</b>            |   |                                 |                |                             |                    |
| Agua potable           | 52.6  | 1 906 608.76                    | m <sup>3</sup> | Distrital                   | 1                  |
| <b>Alimentos</b>       |   |                                 |                |                             |                    |
| Cereales               | 49.7  | 1 802 519.6                     | kg             | Departamental               | 2                  |
| Harinas                | 4.9   | 177 713.2                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Panadería              | 28.7  | 1 040 891.6                     | kg             | Departamental               | 2                  |
| Pastas                 | 16.2  | 587 541.6                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Carnes                 | 33.9  | 1 229 485.2                     | kg             | Departamental               | 2                  |
| Pescados y mariscos    | 5.8   | 210 354.4                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Leche                  | 12.8  | 464 230.4                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Yogurt                 | 3.4   | 123 311.2                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Queso fresco           | 3.7   | 134 191.6                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Huevos                 | 6.9   | 250 249.2                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Aceites y grasas       | 5.7   | 206 727.6                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Frutas                 | 64.6  | 2 342 912.8                     | kg             | Departamental               | 2                  |
| Hortalizas             | 56.7  | 2 056 395.6                     | kg             | Departamental               | 2                  |
| Menestras              | 9.8   | 355 426.4                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Tubérculos y derivados | 95.3  | 3 456 340.4                     | kg             | Departamental               | 2                  |
| Azúcar                 | 21.2  | 768 881.6                       | kg             | Departamental               | 2                  |
| Helado                 | 0.8   | 29 014.2                        | kg             | Departamental               | 2                  |



|                                       |       |              |      |               |   |
|---------------------------------------|-------|--------------|------|---------------|---|
| Especies y sazoadores                 | 4.7   | 170 459.6    | kg   | Departamental | 2 |
| Agua mineral                          | 1.6   | 58 028.8     | kg   | Departamental | 2 |
| Gaseosas                              | 23.3  | 845 044.4    | kg   | Departamental | 2 |
| Refrescos                             | 2.1   | 76 162.8     | kg   | Departamental | 2 |
| <b>Combustibles fósiles y biomasa</b> |       |              |      |               |   |
| Diésel                                | 2.0   | 72 536.0     | L    | Departamental | 3 |
| Gasohol                               | 0.9   | 33 003.9     | L    | Departamental | 3 |
| Gas Licuado de Petróleo               | 0.1   | 4 352.2      | L    | Departamental | 3 |
| Leña                                  | 966.5 | 35 052 659.3 | kg   | Departamental | 4 |
| Bosta y yareta                        | 80.6  | 2 923 200.8  | kg   | Departamental | 4 |
| <b>Materiales de construcción</b>     |       |              |      |               |   |
| Cemento                               | 241.1 | 8 744 214.8  | kg   | Departamental | 5 |
| Acero                                 | 41.9  | 1 519 810.5  | kg   | Nacional      | 6 |
| <b>Electricidad</b>                   |       |              |      |               |   |
| Energía eléctrica                     | 174.1 | 6 315 709.5  | kW.h | Departamental | 7 |

1. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2018); 2. Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares (2012); 3. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2018); 4. Ministerio de Energía y Minas (2018b); 5. Asociación de Productores de Cemento (2017); 6. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017); 7. Ministerio de Energía y Minas (2018a).

Tabla D2.

*Descripción de los principales flujos de salida en la ciudad de Huancavelica, estimación de consumo per cápita, escala original y fuente de datos. Población en la ciudad en el año 2017 es de 36 268 habitantes (área urbana).*

|                               | Consumo<br>estimado per<br>cápita<br>(escala local) | Consumo total<br>(escala local) | Unidades       | Escala de<br>datos<br>original | Fuente<br>de datos |
|-------------------------------|---|---------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------|
| <b>Aguas residuales</b>       |   |                                 |                |                                |                    |
| Aguas residuales              | 53.5  | 1 939 975.3                     | m <sup>3</sup> | Distrital                      | 8                  |
| <b>Emisiones al agua</b>      |   |                                 |                |                                |                    |
| Nitrógeno, total              | 4.1   | 149 000.0                       | kg             | Local                          | 9                  |
| Fósforo, total                | 0.7   | 23 700.0                        | kg             | Local                          | 9                  |
| Demanda Química de<br>Oxígeno | 60.6  | 2 196 000.0                     | kg             | Local                          | 9                  |
| Sólidos en suspensión         | 23.1  | 840 500.0                       | kg             | Local                          | 9                  |
| <b>Residuos Sólidos</b>       |   |                                 |                |                                |                    |
| Domiciliarios                 | 196.7   | 7 135 185                       | kg             | Local                          | 10                 |
| Materia orgánica              | 126.3   | 4 582 215.8                     | kg             | Local                          | 10                 |
| Bolsas                        | 11.1  | 401 710.9                       | kg             | Local                          | 10                 |
| Residuos inertes              | 9.4   | 341 775.4                       | kg             | Local                          | 10                 |
| Cartón                        | 4.5   | 164 109.3                       | kg             | Local                          | 10                 |
| Plástico                      | 3.8   | 136 282.0                       | kg             | Local                          | 10                 |
| Latas                         | 1.9   | 67 070.7                        | kg             | Local                          | 10                 |
| Envolturas                    | 1.7   | 60 649.1                        | kg             | Local                          | 10                 |
| Vidrio                        | 1.5   | 55 654.4                        | kg             | Local                          | 10                 |
| Textiles                      | 1.4   | 52 086.9                        | kg             | Local                          | 10                 |
| Madera y follaje              | 0.8   | 29 254.3                        | kg             | Local                          | 10                 |
| Metales                       | 0.5   | 17 838                          | kg             | Local                          | 10                 |

|                      |       |             |    |       |    |
|----------------------|-------|-------------|----|-------|----|
| Tetrapack            | 0.4   | 14 270.4    | kg | Local | 10 |
| Electrónicos y pilas | 0.2   | 8 562.2     | kg | Local | 10 |
| Otros                | 33.2  | 1 203 705.7 | kg | Local | 10 |
| No domiciliarios     | 120.1 | 4 355 242.8 | kg | Local | 10 |

**Emisiones al aire**

|                                       |         |              |    |          |        |
|---------------------------------------|---------|--------------|----|----------|--------|
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) | 1 618.9 | 58 715 715.9 | kg | Nacional | 11     |
| Monóxido de carbono (CO)              | 25.7    | 931 362.2    | kg | Nacional | 12, 13 |
| Metano (CH <sub>4</sub> )             | 9.1     | 328 950.8    | kg | Nacional | 11, 13 |
| Material particulado (PM)             | 2.5     | 88 994.4     | kg | Nacional | 12     |
| Óxido de azufre (SO)                  | 1.5     | 54 402       | kg | Nacional | 12     |
| Hidrocarburos (HC)                    | 0.4     | 13 310.4     | kg | Nacional | 13     |
| Óxido de nitrógeno (NO)               | 0.1     | 3 119.1      | kg | Nacional | 12, 13 |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)      | 0.1     | 1 813.4      | kg | Nacional | 11     |

8. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2018); 9. Metcalf y Eddy (2014); 10. Municipalidad Provincial de Huancavelica (2016); 11. Ministerio de Energía y Minas (2018b); 12. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019); 13. Ministerio del Ambiente (2015).

## Anexo E

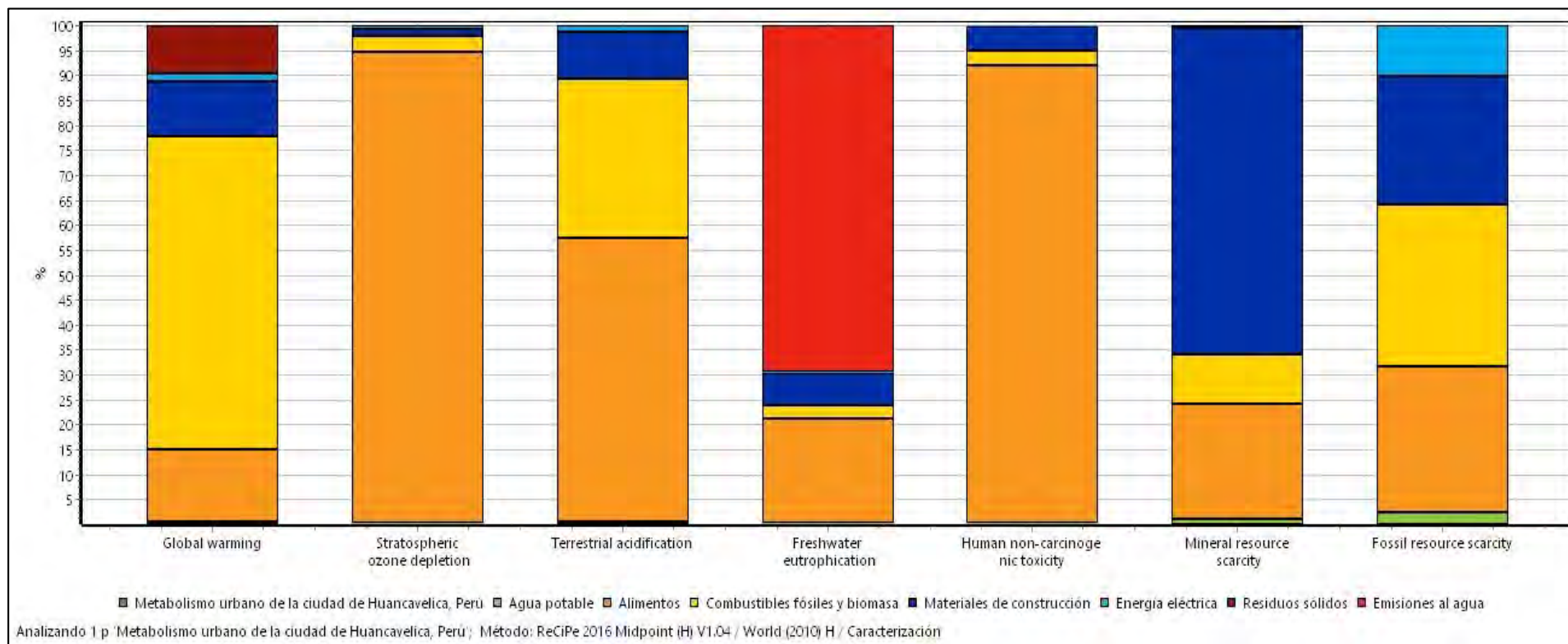


Figura E1. Análisis de impacto del Metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método ReCiPe 2016 Midpoint (H) de SimaPro.

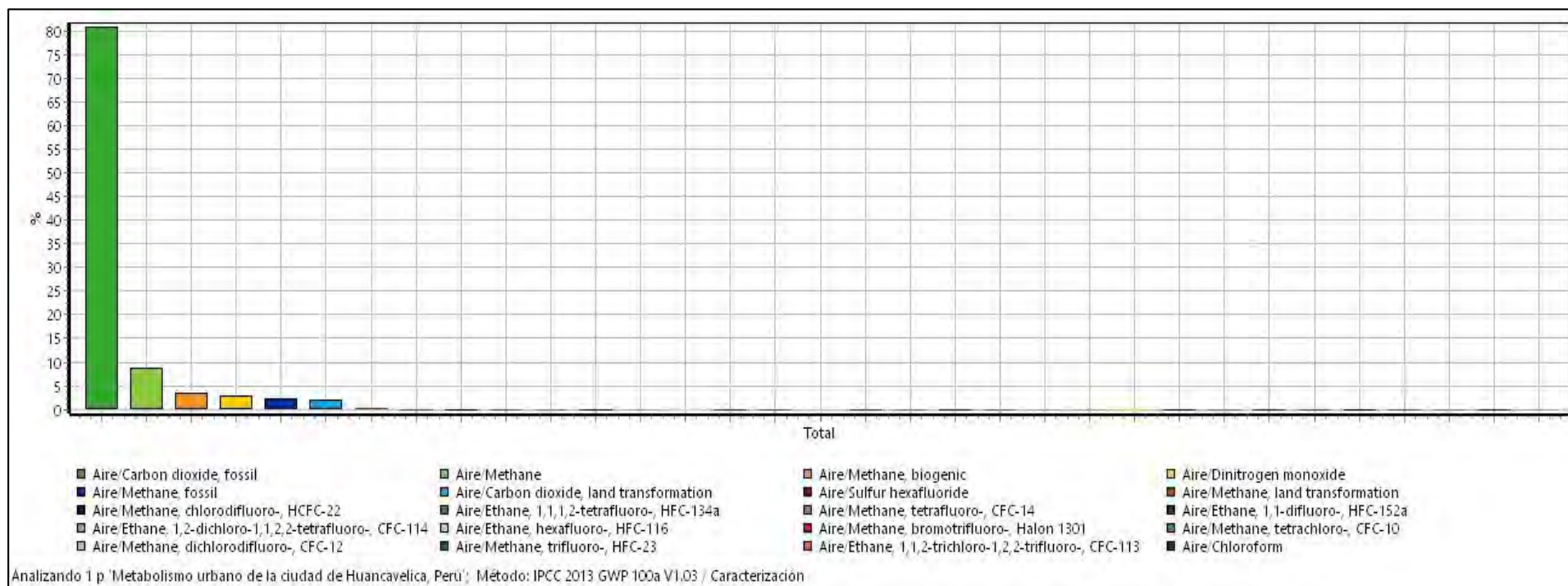


Figura E2. Inventario de emisiones para la categoría calentamiento global en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método IPCC 2013 100a de SimaPro.

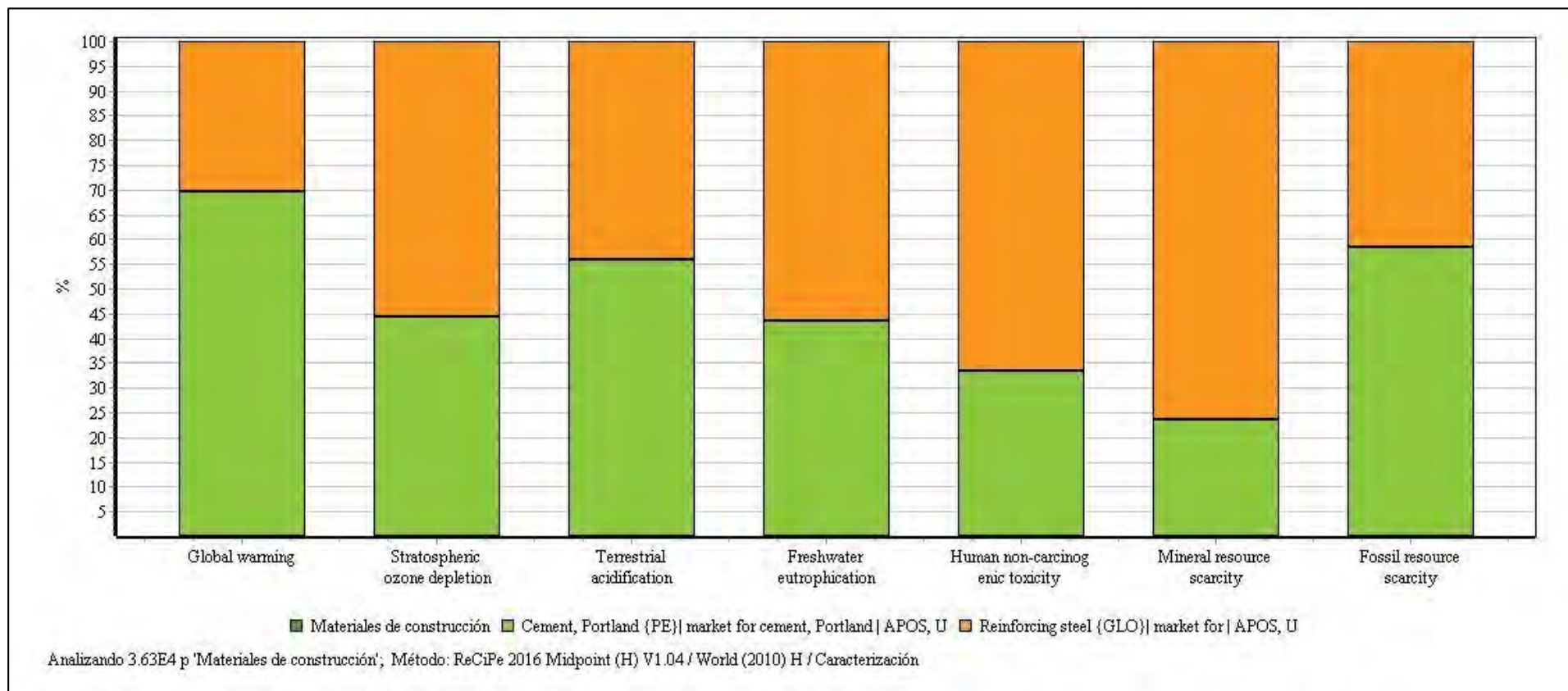


Figura E3. Análisis del impacto de los materiales de construcción en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método ReCiPe 2016 Midpoint (H) de SimaPro.

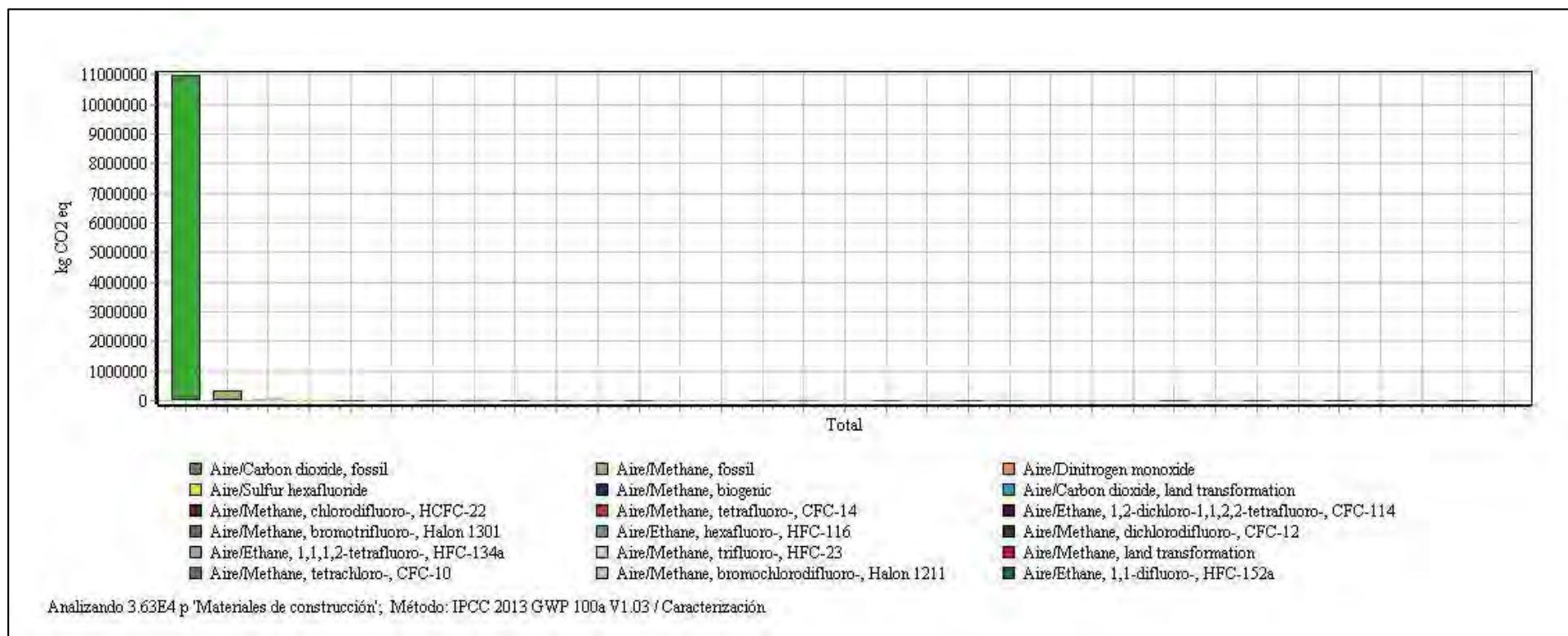


Figura E4. Inventario de emisiones de los materiales de construcción en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método IPCC 2013 100a de SimaPro.

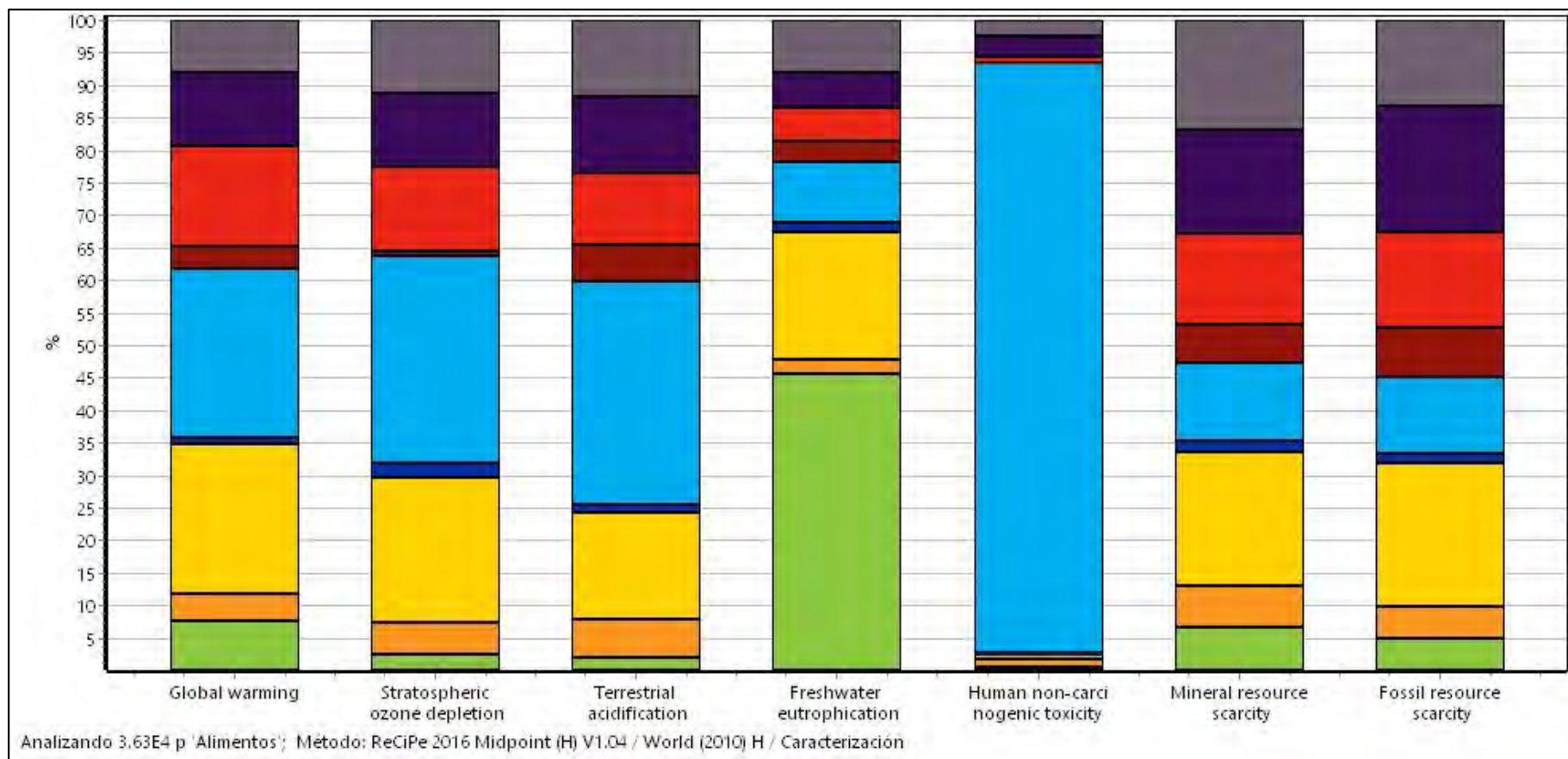


Figura E5. Análisis del impacto de los alimentos en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método ReCiPe 2016 Midpoint (H) de SimaPro.



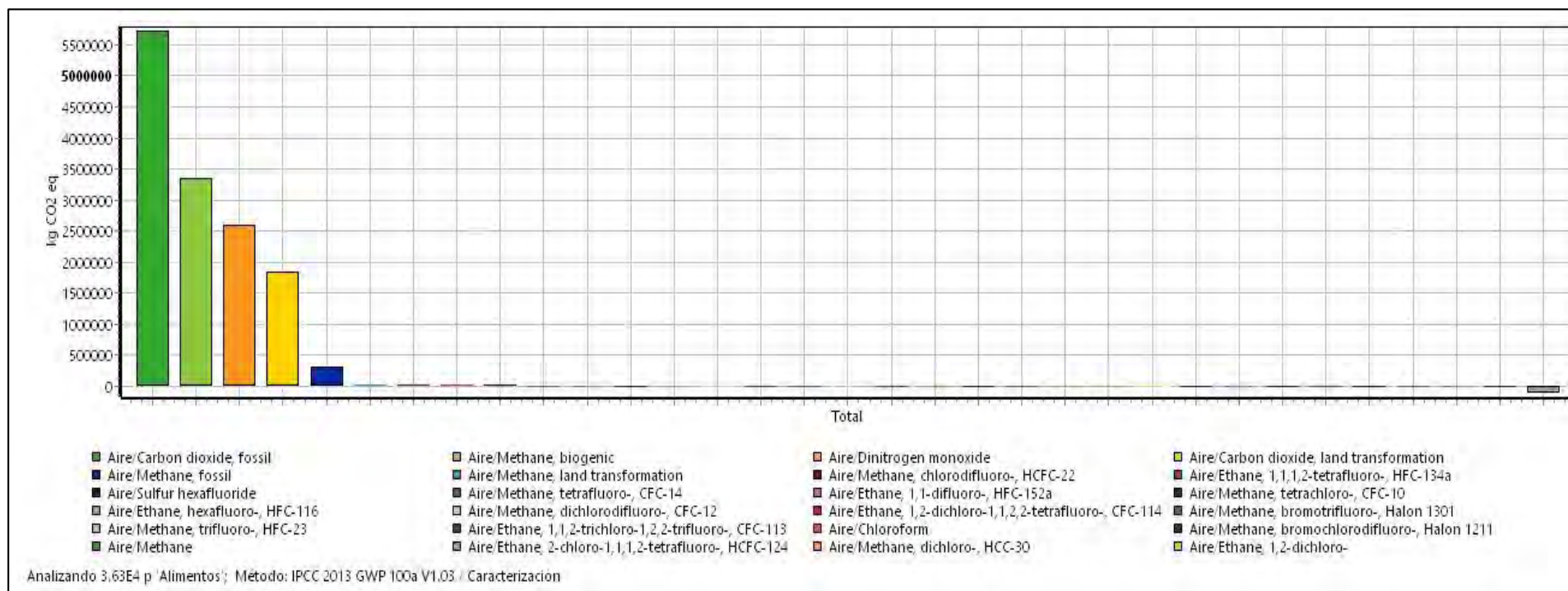


Figura E6. Inventario de emisiones de los alimentos en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método IPCC 2013 100a de SimaPro.

Tabla E1.

*Emissiones de gases de efecto invernadero en términos de masa de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq) generados por el proceso alimentos en la ciudad de Huancavelica, Perú, en el año 2017.*

| Producto                                 | Unidad | Consumo per cápita | Consumo total | Emissiones totales de los productos (kg CO <sub>2</sub> eq) | Emissiones en kg CO <sub>2</sub> /kg de producto | Fuente                 |
|--|--------|--------------------|---------------|---|--|------------------------|
| <b>Cereales y productos de panadería</b> |        |                    |               |   |  |                        |
| Arroz                                    | kg     | 35.30              | 1 280 260.40  | 1 807 533.04  | 1.41   | Ecoinvent 3.6          |
| Maíz                                     | kg     | 4.30               | 155 952.40    | 91 750.59   | 0.59   | Ecoinvent 3.6          |
| Trigo y similares (morón)                | kg     | 4.70               | 170 459.60    | 121 631.07  | 0.71   | Ecoinvent 3.6          |
| Avena y similares                        | kg     | 3.30               | 119 684.40    | 87 244.53   | 0.73   | Ecoinvent 3.6          |
| Cebada                                   | kg     | 1.40               | 50 775.20     | 27 332.10   | 0.54   | Ecoinvent 3.6          |
| Pan                                      | kg     | 25.30              | 917 580.40    | 964 482.51  | 1.05   | Ecoinvent 3.6          |
| Galletas                                 | kg     | 2.20               | 79 789.60     | 210 644.54  | 2.64   | Wallen et al. 2004 (*) |
| Pasteles y tortas                        | kg     | 1.20               | 43 521.60     | 114 897.02  | 2.64   | Wallen et al. 2004 (*) |
| <b>Total</b>                             |        |                    |               | <b>3 425 515.41</b>   |  |                        |
| <b>Harinas y pastas</b>                  |        |                    |               |   |  |                        |
| Harina de trigo                          | kg     | 3.00               | 108 804.00    | 94 128.49   | 0.87   | Ecoinvent 3.6          |

|                             |    |       |            |            |      |                        |
|-----------------------------|----|-------|------------|------------|------|------------------------|
| Harina de otros cereales 2/ | kg | 1.20  | 43 521.60  | 36 578.06  | 0.84 | Ecoinvent 3.6          |
| Harina de menestras 3/      | kg | 0.70  | 25 387.60  | 27 865.12  | 1.10 | Ecoinvent 3.6          |
| Fideos secos                | kg | 16.20 | 587 541.60 | 475 908.70 | 0.81 | Wallen et al. 2004 (*) |

**Total** **634 480.37**

### Carnes

|                        |    |       |            |              |       |                       |
|------------------------|----|-------|------------|--------------|-------|-----------------------|
| Carne de carnero       | kg | 4.40  | 159 579.20 | 1 331 968.72 | 8.35  | Ecoinvent 3.6         |
| Carne de cerdo         | kg | 0.40  | 14 507.20  | 117 948.06   | 8.13  | Ecoinvent 3.6         |
| Carne de vacuno        | kg | 1.70  | 61 655.60  | 1 021 940.06 | 16.57 | Ecoinvent 3.6         |
| Carne de otras aves 5/ | kg | 0.10  | 3 626.80   | 21 434.39    | 5.91  | Clune et al. 2017 (*) |
| Gallina                | kg | 11.80 | 3 626.80   | 8 009.07     | 2.21  | Ecoinvent 3.6         |
| Pollo                  | kg | 11.80 | 427 962.40 | 945 070.83   | 2.21  | Ecoinvent 3.6         |
| Menudencia de ave 6/   | kg | 3.90  | 141 445.20 | 4 045 332.72 | 28.60 | Clune et al. 2017 (*) |
| Aves de corral         | kg | 0.10  | 3 626.80   | 21 434.39    | 5.91  | Clune et al. 2017 (*) |

**Total** **7 513 138.25**

### Pescados y mariscos

|                                |    |      |            |            |      |               |
|--------------------------------|----|------|------------|------------|------|---------------|
| Pescado de mar                 | kg | 4.00 | 145 072.00 | 369 182.65 | 2.54 | Ecoinvent 3.6 |
| Pescado de río                 | kg | 0.70 | 25 387.60  | 8 894.10   | 0.35 | Ecoinvent 3.6 |
| Pescado y mariscos en conserva | kg | 1.10 | 39 894.80  | 105 469.22 | 2.64 | Ecoinvent 3.6 |

**Total** **483 545.97**

### Productos lácteos

|                                 |    |      |            |              |       |               |
|---------------------------------|----|------|------------|--------------|-------|---------------|
| Leche fresca                    | L  | 2.80 | 101 550.40 | 168 525.70   | 1.66  | Ecoinvent 3.6 |
| Leche fresca pasteurizada y UHT | L  | 0.20 | 7 253.60   | 12 044.00    | 1.66  | Ecoinvent 3.6 |
| Leche evaporada                 | L  | 9.80 | 355 426.40 | 7 349.74     | 0.02  | Ecoinvent 3.6 |
| Yogurt                          | L  | 3.40 | 123 311.20 | 233 269.97   | 1.89  | Ecoinvent 3.6 |
| Queso fresco                    | kg | 3.70 | 134 191.60 | 1 705 946.31 | 12.71 | Ecoinvent 3.6 |

**Total** **2 127 135.71**

### Frutas y hortalizas

|           |    |       |            |            |      |               |
|-----------|----|-------|------------|------------|------|---------------|
| Limón     | kg | 2.20  | 79 789.60  | 25 955.07  | 0.33 | Ecoinvent 3.6 |
| Mandarina | kg | 9.50  | 344 546.00 | 195 305.47 | 0.57 | Ecoinvent 3.6 |
| Naranja   | kg | 12.30 | 446 096.40 | 125 118.04 | 0.25 | Ecoinvent 3.6 |

|            |    |       |            |            |      |                              |
|------------|----|-------|------------|------------|------|------------------------------|
| Duraznos   | kg | 0.60  | 21 760.80  | 9 027.12   | 0.41 | Ecoinvent 3.6                |
| Manzana    | kg | 11.60 | 420 708.80 | 124 802.44 | 0.30 | Ecoinvent 3.6                |
| Palta      | kg | 1.30  | 47 148.40  | 34 196.41  | 0.73 | Ecoinvent 3.6                |
| Papaya     | kg | 3.10  | 112 430.80 | 28 767.04  | 0.26 | Ecoinvent 3.6                |
| Plátano    | kg | 14.90 | 540 393.20 | 149 720.14 | 0.28 | Ecoinvent 3.6                |
| Uva        | kg | 5.30  | 192 220.40 | 52 125.04  | 0.27 | Ecoinvent 3.6                |
| Fresa      | kg | 0.20  | 7 253.60   | 3 823.85   | 0.53 | Ecoinvent 3.6                |
| Mango      | kg | 3.20  | 116 057.60 | 14 626.76  | 0.13 | Ecoinvent 3.6                |
| Sandía     | kg | 0.40  | 14 507.20  | 22 573.20  | 1.56 | Mohammadi et al.<br>2016 (*) |
| Apio       | kg | 3.70  | 134 191.60 | 75 054.41  | 0.56 | Ecoinvent 3.6                |
| Lechuga    | kg | 1.90  | 68 909.20  | 247 701.41 | 3.59 | Ecoinvent 3.6                |
| Coles      | kg | 3.20  | 116 057.60 | 42 460.98  | 0.37 | Ecoinvent 3.6                |
| Ají entero | kg | 0.90  | 32 641.20  | 9 570.55   | 0.29 | Ecoinvent 3.6                |
| Tomate     | kg | 7.20  | 261 129.60 | 130 645.73 | 0.50 | Ecoinvent 3.6                |
| Zapallo    | kg | 10.10 | 366 306.80 | 121 613.86 | 0.33 | Ecoinvent 3.2 (*)            |

|                               |    |       |              |                     |      |                       |
|-------------------------------|----|-------|--------------|---------------------|------|-----------------------|
| Choclo                        | kg | 2.80  | 101 550.40   | 29 156.62           | 0.29 | Clune et al. 2017 (*) |
| Calabaza                      | kg | 0.10  | 3 626.80     | 1 204.10            | 0.33 | Ecoinvent 3.6         |
| Ajo entero                    | kg | 0.70  | 25 387.60    | 14 597.87           | 0.58 | Ecoinvent 3.6         |
| Cebolla                       | kg | 9.80  | 355 426.40   | 109 629.60          | 0.31 | Ecoinvent 3.6         |
| Zanahoria                     | kg | 16.30 | 591 168.48   | 150 584.87          | 0.25 | Ecoinvent 3.6         |
| <b>Total</b>                  |    |       |              | <b>1 718 260.57</b> |      |                       |
| <b>Menestras y tubérculos</b> |    |       |              |                     |      |                       |
| Frejol                        | kg | 0.60  | 21 760.80    | 12 210.74           | 0.56 | Ecoinvent 3.6         |
| Alverja (fresca y seca)       | kg | 4.70  | 170 459.60   | 76 549.96           | 0.45 | Ecoinvent 3.6         |
| Habas (fresca y seca)         | kg | 1.90  | 68 909.20    | 38 667.33           | 0.56 | Ecoinvent 3.6         |
| Lenteja                       | kg | 2.60  | 94 296.80    | 97 125.70           | 1.03 | Clune et al. 2017 (*) |
| Camote                        | kg | 3.00  | 108 804.00   | 38 734.22           | 0.36 | Clune et al. 2017 (*) |
| Papa                          | kg | 87.80 | 3 184 330.40 | 1 021 275.39        | 0.32 | Ecoinvent 3.6         |
| Yuca                          | kg | 0.90  | 32 641.20    | 11 620.27           | 0.36 | Clune et al. 2017 (*) |
| Olluco                        | kg | 2.40  | 87 043.20    | 30 987.38           | 0.36 | Clune et al. 2017 (*) |

|                                       |    |       |            |                      |      |                        |
|---------------------------------------|----|-------|------------|----------------------|------|------------------------|
| Chuño entero                          | kg | 0.90  | 32 641.20  | 11 620.27            | 0.36 | Clune et al. 2017 (*)  |
| <b>Total</b>                          |    |       |            | <b>1 338 791.26</b>  |      |                        |
| Huevos de ave                         | kg | 6.90  | 250 249.20 | 815 812.39           | 3.26 | Clune et al. 2017 (*)  |
| Aceite vegetal                        | L  | 5.30  | 192 220.40 | 1 096 534.94         | 5.70 | Ecoinvent 3.6          |
| Margarina                             | kg | 0.40  | 14 507.20  | 30 755.26            | 2.12 | Wallen et al. 2004 (*) |
| Azúcar refinada                       | kg | 21.20 | 768 881.60 | 614 272.78           | 0.80 | Ecoinvent 3.6          |
| Helado                                | kg | 0.80  | 29 014.40  | 18 569.22            | 0.64 | Wallen et al. 2004 (*) |
| Especias, sazónadores, postres        | kg | 4.70  | 170 459.60 | 49 984.82            | 0.29 | Ecoinvent 3.6          |
| <b>Agua mineral, refrescos, jugos</b> |    |       |            |                      |      |                        |
| Aguas minerales y de mesa             | L  | 1.60  | 58 028.80  | 4 642.30             | 0.08 | Wallen et al. 2004 (*) |
| Gaseosas                              | L  | 23.30 | 845 044.40 | 473 224.86           | 0.56 | Wallen et al. 2004 (*) |
| Refrescos fluidos                     | L  | 2.10  | 76 162.80  | 42 651.17            | 0.56 | Wallen et al. 2004 (*) |
| <b>Total</b>                          |    |       |            | <b>520 518.34</b>    |      |                        |
| <b>Total, emisiones alimentos</b>     |    |       |            | <b>20 387 315.29</b> |      |                        |

(\*) Nota: Las emisiones de los productos que no han sido modelados por no encontrarse en la base de datos de SimaPro, Ecoinvent 3.6, se han tomado de Climate change mitigation opportunities based on carbon footprint estimates of dietary patterns in Peru [Oportunidades de mitigación del cambio climático basadas estimaciones de la huella de carbono de los patrones dietéticos en Perú], por Vázquez-Rowe I., Larrea-Gallegos G., Villanueva-Rey P., Gilardino A., 2017.

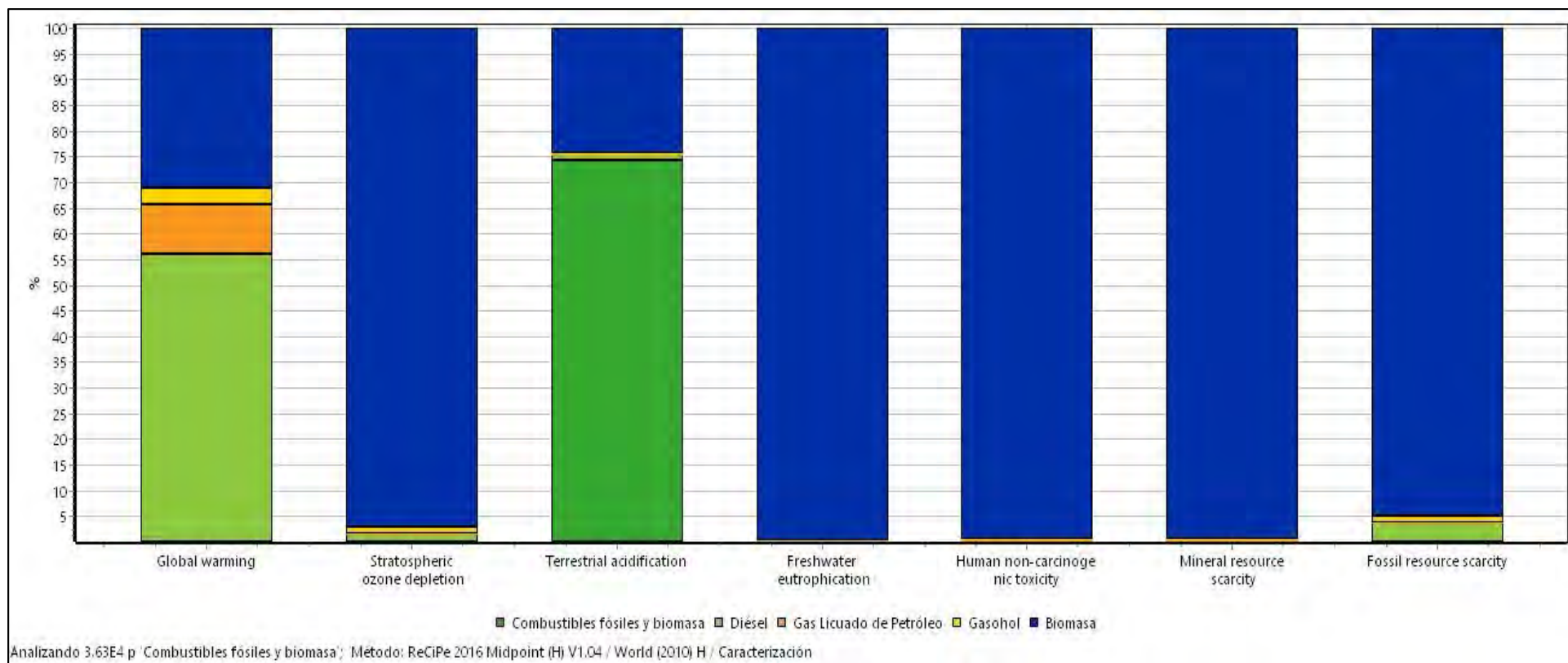


Figura E7. Análisis del impacto de los combustibles fósiles y biomasa en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método ReCiPe 2016 Midpoint (H) de SimaPro.



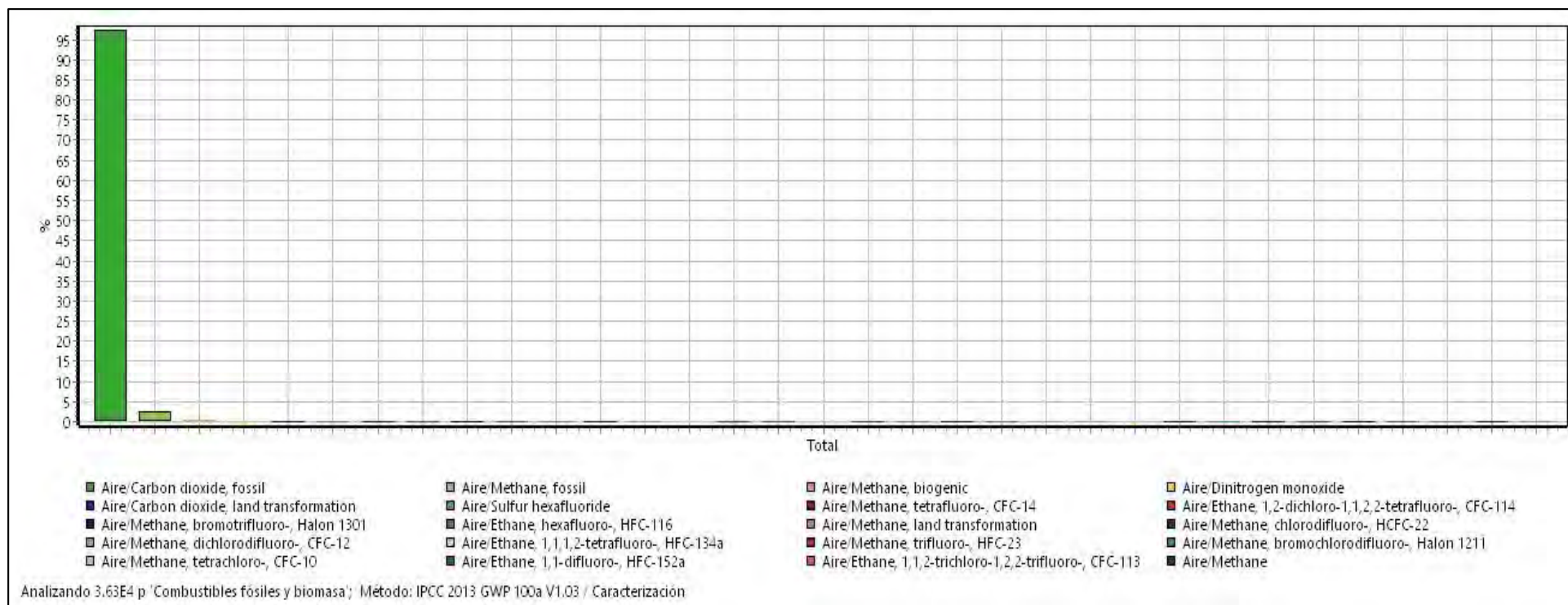


Figura E8. Inventario de emisiones de los combustibles fósiles y biomasa en la ciudad de Huancavelica, Perú en el año 2017, empleando el Método IPCC 2013 100a de SimaPro.